MAX

NOVA

3 B

HAVO

Natuurkunde



NAAM EN KLAS:

MALMBERG



3 HAVO Deel B

Natuurkunde

Auteurs
Louis Lenders
Sander Michon
François Molin
Rein Tromp

Eindredactie
Claud Biemans

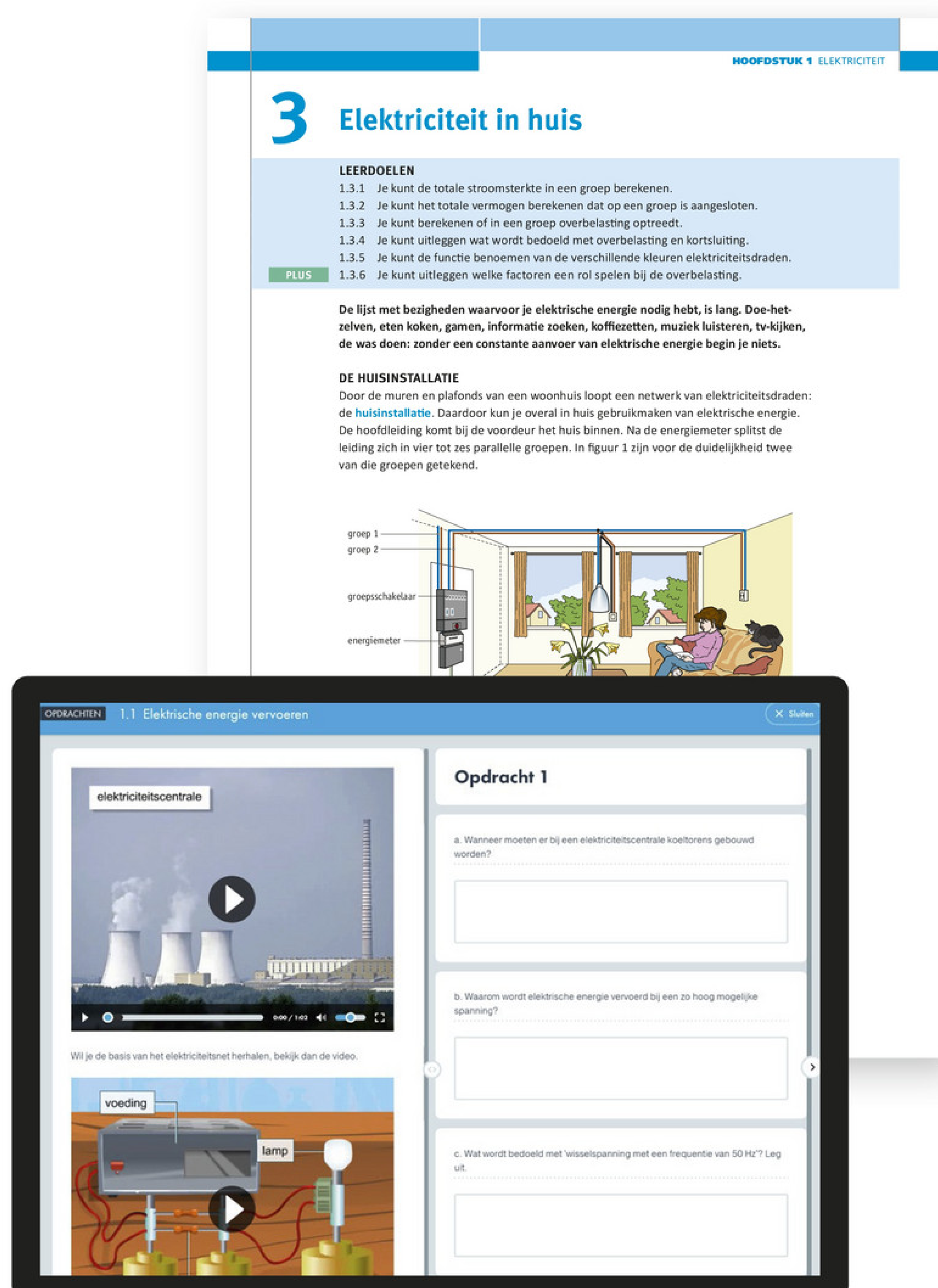
MAX Release 5.1

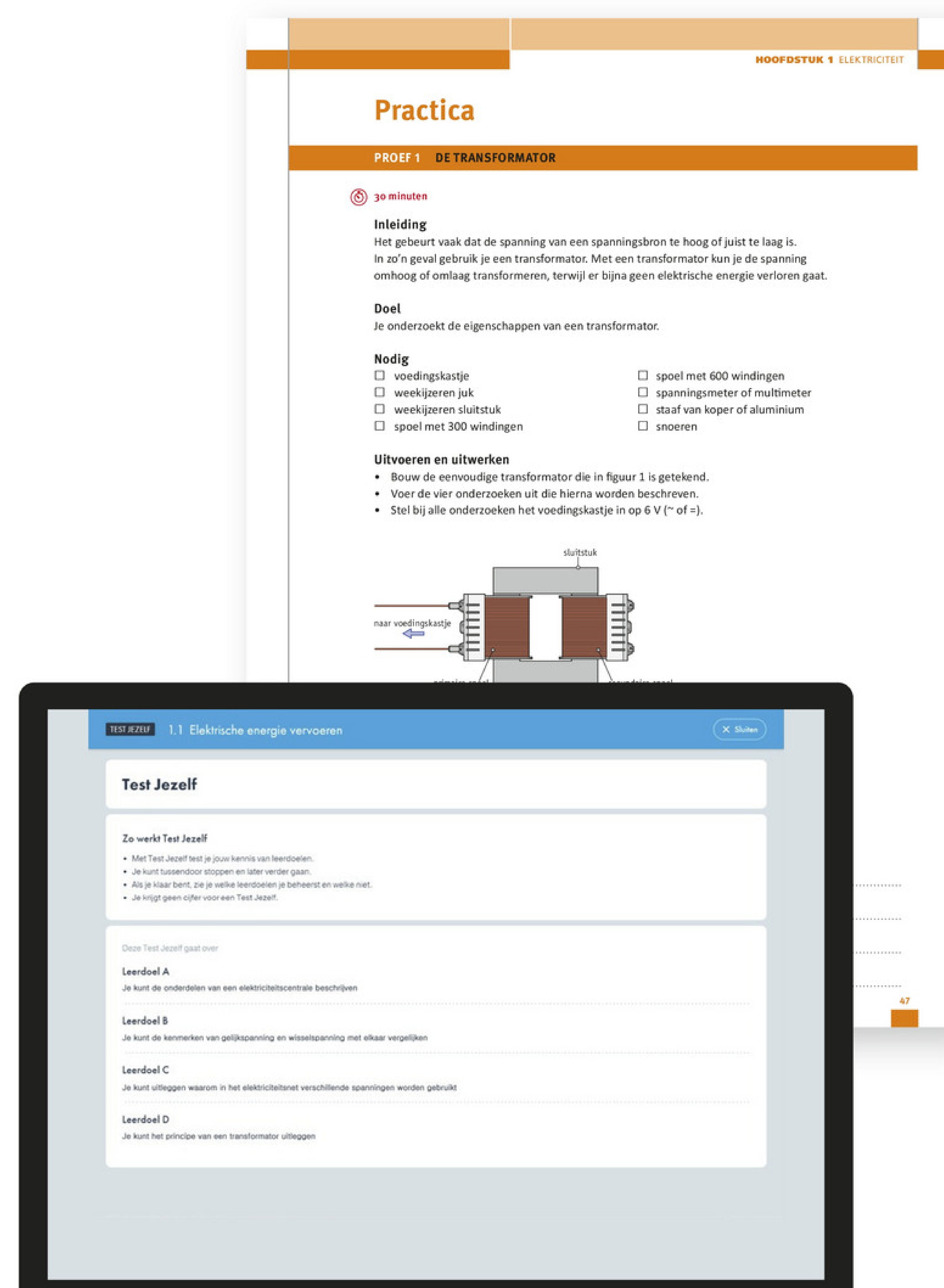
www.malmberg.nl/nova-natuurkunde
Malmberg, 's-Hertogenbosch

Aan de slag met Nova

Waarom Nova?

Natuurkunde gaat over de wereld om je heen. Met Nova heb je alles binnen handbereik om dit te ervaren, te beleven en te ontdekken!





Werk in je boek én online!

Er zijn twee boeken per leerjaar en een online leeromgeving. Je docent kiest wat je online doet (met laptop, tablet of telefoon) en wat in je boek. De antwoorden op de open opdrachten schrijf je niet in je boek, maar in je schrift. Elk hoofdstuk is verdeeld in een introductie waarin je je voorkennis vaststelt, theorieparagrafen, een practicumparagraaf, een praktijkartikel en een afsluiting. Aan het begin van elke paragraaf is met leerdoelen aangegeven wat je gaat leren. Met de plusstof kun je kijken of het vak natuurkunde ook in de bovenbouw geschikt voor je is. In het onderdeel practicum ga je met practica aan de slag en leer je onderzoeken. Aan het einde van elk hoofdstuk staat een praktijkartikel, waarin een deel van de lesstof in een situatie uit het dagelijks leven of de wetenschap wordt besproken. In de afsluiting vind je de onderdelen Onthoud en Begrippen.

Voordelen van online

- Je ziet snel wat je goed of fout doet.
- Je krijgt direct feedback op je antwoorden.
- Je bekijkt filmpjes en animaties.
- Je oefent belangrijke vaardigheden met de *Vaardigheidstrainer*.
- Je leert de begrippen met de *Flitskaarten*.
- Je meet of je de stof beheerst met de *Test jezelf*, *Oefentoets* en *Diagnostische toets*.
- Je kunt op een lager niveau en leerjaar werken.
- Je docent volgt hoe je het doet.

Vaardigheden

Aan het eind van elk boek vind je het onderdeel Vaardigheden, waarin de belangrijkste vaardigheden om onderzoek te doen worden uitgelegd. Enkele belangrijke vaardigheden kun je online oefenen met de *Vaardigheidstrainer*.

Goede voorbereiding op de toets!

In het boek vind je in de afsluiting van elk hoofdstuk de onderdelen Onthoud en Begrippen die je helpen bij de voorbereiding op de toets. In de online paragraaf Afsluiting staat een *Diagnostische toets*. Hier vind je ook *Flitskaarten* voor het leren van alle begrippen. Twijfel je of je de stof voldoende beheerst? Maak dan aan het einde van elke paragraaf de *Test jezelf* of *Oefentoets*.



VAARDIGHEDEN

6 Formules herschrijven

Bij het vak natuurkunde gebruik je vaak formules. Zo'n formule kun je op verschillende manieren opschrijven. Soms is de ene vorm handiger, soms de andere. Dat wil niet zeggen dat je al die verschillende vormen moet onthouden. Als je één vorm onthoudt, dan kun je de andere vormen daar snel uit afleiden. Dat noem je de formule herschrijven.

Voor het herschrijven van formules kun je twee wiskundige methoden gebruiken: kruislings vermenigvuldigen en de balansmethode. Neem bijvoorbeeld de formule: $v = \frac{s}{t}$

Stel dat je met deze formule de tijd t wilt berekenen, dan kun je de formule als volgt herschrijven:

Methode 1: Kruislings vermenigvuldigen

Hiervoor schrijf je eerst beide kanten als breuk: $v = \frac{s}{t} \rightarrow \frac{v}{1} = \frac{s}{t}$, want $\frac{v}{1} = v$

Vermenigvuldig kruislings:
$\frac{v}{1} = \frac{s}{t} \rightarrow v \cdot t = s \cdot 1 \rightarrow v \cdot t = s$

Deel nu beide kanten door v: $v \cdot t = s \rightarrow \frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$

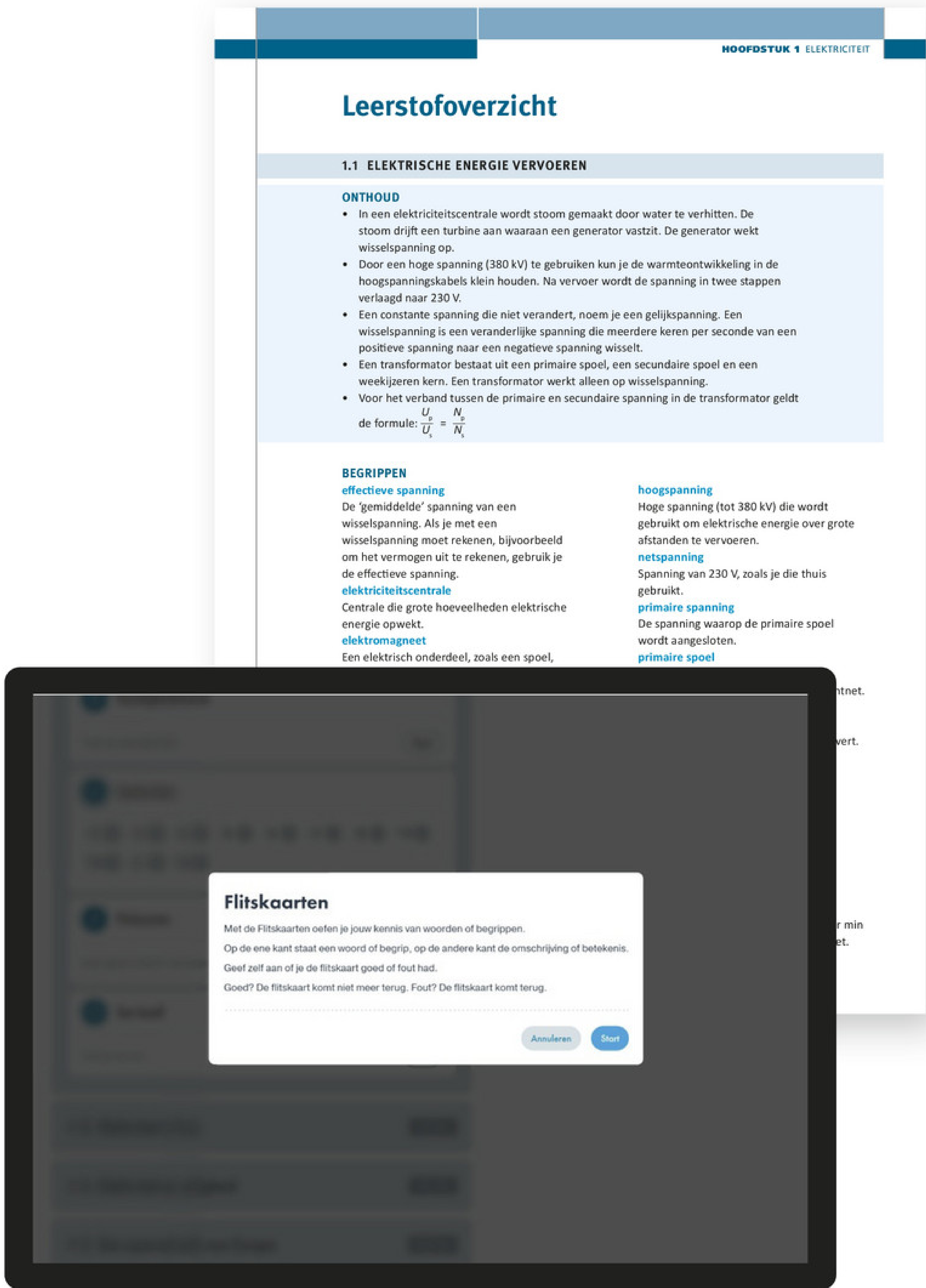
Vereenvoudig de uitkomst: $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v} \rightarrow t = \frac{s}{v}$, want $\frac{v}{v} = 1$

Methode 2: De balansmethode

Hierbij doe je aan beide zijden van het isgelijkteken steeds hetzelfde. Het isgelijkteken betekent namelijk dat aan beide zijden dezelfde waarde staat, bijvoorbeeld: 3 = 3, of $\frac{6}{2} = \frac{3}{1}$ of $v = \frac{s}{t}$

Je mag beide zijden met hetzelfde getal vermenigvuldigen. De waarden aan beide zijden van het isgelijkteken veranderen, maar zijn nog steeds aan elkaar gelijk, bijvoorbeeld: $\frac{6 \cdot a}{2} = \frac{3 \cdot a}{1} \rightarrow 3 \cdot a = 3 \cdot a$

Hetzelfde geldt voor beide zijden delen door hetzelfde getal.



HOOFDSTUK 1 ELEKTRICITEIT

Leerstofoverzicht

1.1 ELEKTRISCHE ENERGIE VERVOEREN

ONTHOUD
- In een elektriciteitscentrale wordt stoom gemaakt door water te verhitten. De stoom drijft een turbine aan waaraan een generator vastzit. De generator wekt wisselspanning op.
- Door een hoge spanning (380 kV) te gebruiken kun je de warmteontwikkeling in de hoogspanningskabels klein houden. Na vervoer wordt de spanning in twee stappen verlaagd naar 230 V.
- Een constante spanning die niet verandert, noem je een gelijkspanning. Een wisselspanning is een veranderlijke spanning die meerdere keren per seconde van een positieve spanning naar een negatieve spanning wisselt.
- Een transformator bestaat uit een primaire spoel, een secundaire spoel en een weekijzeren kern. Een transformator werkt alleen op wisselspanning.
- Voor het verband tussen de primaire en secundaire spanning in de transformator geldt de formule: $\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$

BEGRIPPEN

effectieve spanning
De 'gemiddelde' spanning van een wisselspanning. Als je met een wisselspanning moet rekenen, bijvoorbeeld om het vermogen uit te rekenen, gebruik je de effectieve spanning.

elektriciteitscentrale
Centrale die grote hoeveelheden elektrische energie opwekt.

elektromagneet
Een elektrisch onderdeel, zoals een spoel,

hoogspanning
Hoge spanning (tot 380 kV) die wordt gebruikt om elektrische energie over grote afstanden te vervoeren.

netspanning
Spanning van 230 V, zoals je die thuis gebruikt.

primaire spanning
De spanning waarop de primaire spoel wordt aangesloten.

primaire spoel

Voordelen van het boek

- Je hebt snel overzicht van wat je gaat leren.
- Je leest lange teksten op papier.
- Je markeert in de tekst en maakt aantekeningen.
- Je schrijft korte antwoorden meteen bij de opdracht.
- Tabellen en grafieken vul je in in het boek, net als de resultaten van practica.
- Je tekent en kleurt zodat je leerstof goed onthoudt.

Leerdoelen en soorten opdrachten

Aan het begin van elke paragraaf zijn de leerdoelen opgenomen, zodat je precies kunt zien wat je gaat leren. Achterin het boek staan tabellen waarin voor elke opdracht is aangegeven wat voor soort opdracht het is (de taxonomie): onthouden, begrijpen, toepassen of analyseren.

Betekenis van de symbolen

	Ga naar de online leeromgeving voor handige extra's.
PROEF 1	Er is een practicum bij deze lesstof.
	Met dit practicum ben je zo lang bezig.
	Gebruik de vaardigheid bij deze opdracht.
★	Deze opdracht biedt extra uitdaging.

Inhoud Deel A

Inhoud Deel B

4

Kracht en beweging

BLIJF IN BEWEGING
Of je nu fietst of in een raceauto rijdt, je hebt kracht nodig om in beweging te komen. Als je stopt met trappen of gas geven, neemt je snelheid af. Dat komt door weerstandskrachten die tegen de richting van je beweging in werken.



Wat weet je al over kracht en beweging?

LEERDOELEN

1 Je kunt een snelheid-tijddiagram of (*v*,*t*)-diagram aflezen.
2 Je kunt in een plaats-tijddiagram of (*x*,*t*)-diagram bij een tijdstip de bijbehorende plaats aflezen en omgekeerd.
3 Je kunt de gemiddelde snelheid berekenen in m/s en km/h.
4 Je kunt beschrijven wat de gevolgen voor een voorwerp zijn als er een kracht op werkt.
5 Je kunt verschillende krachten beschrijven.
6 Je kunt de zwaartekracht op een massa berekenen.
7 Je kunt een kracht tekenen door gebruik te maken van een krachtenschaal.
8 Je kunt de resulterende kracht berekenen van krachten die in dezelfde lijn liggen.

In deel 1-2 van Nova nask heb je al het een en ander geleerd over bewegingen. In hoofdstuk 2 heb je een aantal dingen geleerd over krachten. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Een auto rijdt 42 km over de autoweg. Hij doet hier 0,60 h over.
Bereken de gemiddelde snelheid van de auto in m/s.

2 Bereken de zwaartekracht die werkt op een paard met een massa van 550 kg.

....

....

....

3 Bepaal de resultante op de fietser in figuur 1.

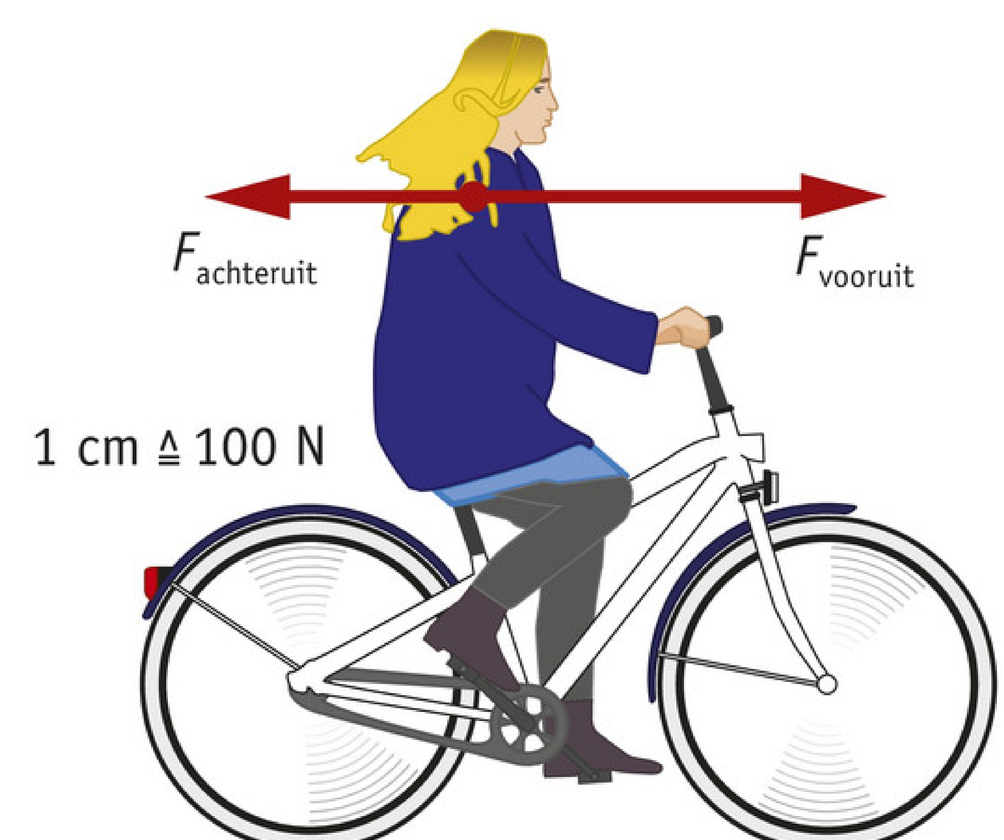
....

....

....

4 Hoe beweegt de fietser in figuur 1?

○ A De fietser beweegt versneld.
○ B De fietser beweegt vertraagd.
○ C De fietser beweegt eenparig.



figuur 1 Krachten op een fiets.

5 Links en rechts staan dezelfde bewegingen: links als (x,t)-diagram, rechts als (v,t)-diagram.
Trek een lijn van elk (x,t)-diagram naar het bijbehorende (v,t)-diagram.

(x,t)-diagram

A

B

C

(v,t)-diagram

1

2

3



Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk. Of scan de QR-code om direct naar een filmpje te gaan:



Diagrammen aflezen



Gevolgen van kracht en zwaartekracht



Krachten-schaal en F_{res}



Snelheid berekenen

1 Voortstuwen en tegenwerken

LEERDOELEN

4.1.1 Je kunt beschrijven waarvan de luchtweerstandskracht en de rolweerstandskracht afhankelijk zijn.
4.1.2 Je kunt de resultante op een voorwerp afleiden.
4.1.3 Je kunt de twee gevolgen van een resultante op een voorwerp benoemen.
4.1.4 Je kunt verklaren welke beweging een voorwerp zal maken als je de resultante kent (eerste wet van Newton).
PLUS 4.1.5 Je kunt de formule van de luchtweerstand gebruiken en toelichten met berekeningen.

Als je op de fiets harde tegenwind hebt, kom je maar langzaam vooruit. Ook als er een dik pak sneeuw op de weg ligt, kost fietsen veel inspanning. Je merkt dat de krachten die je beweging tegenwerken groter zijn dan gewoonlijk.

VOORTSTUWENDE EN TEGENWERKENDE KRACHTEN

PROEF 1

Als je fietst, leveren je spieren de voortstuwende kracht die nodig is om vooruit te komen. Als je stopt met trappen, neemt je snelheid meteen af. Dat komt doordat er verschillende weerstandskrachten zijn die op jou en je fiets werken. De twee belangrijkste daarvan zijn de **luchtweerstandskracht** en de **rolweerstandskracht**.

De luchtweerstandskracht of **luchtweerstand** ontstaat doordat je de lucht voor je steeds opzij moet duwen. Hoe sneller je beweegt, hoe meer luchtweerstand je ondervindt. Je kunt de luchtweerstand verminderen door je stroomlijn te verbeteren door voorovergebogen op je fiets te zitten (figuur 1). Je hoeft dan minder lucht opzij te duwen, omdat je **frontaal oppervlak** – het oppervlak gezien van voren – dan kleiner is.



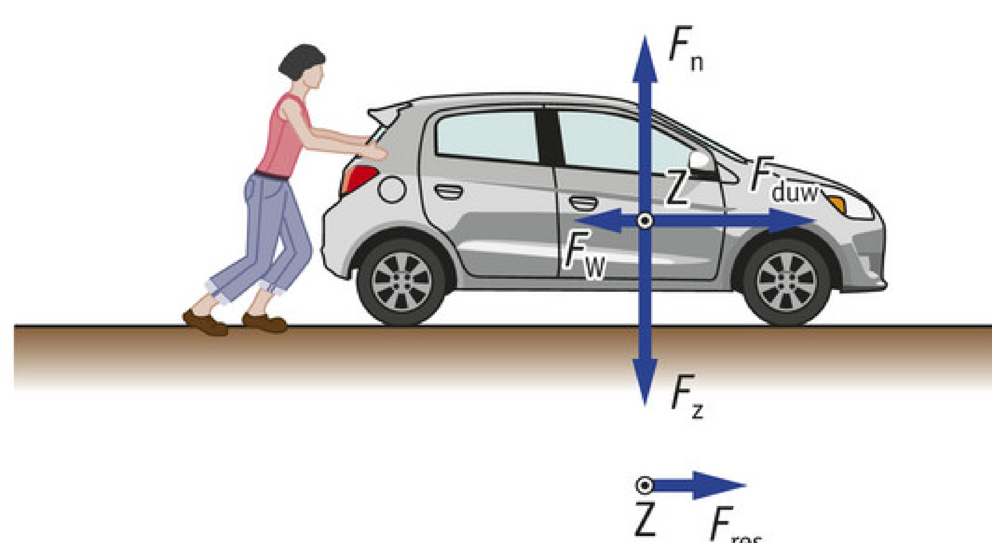
figuur 1 Een wielrenner met stroomlijn.

De rolweerstandskracht of **rolweerstand** ontstaat doordat de banden en de ondergrond vervormen tijdens het fietsen. Hoe groter die vervorming is, des te groter is de rolweerstand. Dit merk je bijvoorbeeld als je door mul zand rijdt. Wegen en fietspaden hebben daarom een vlak en hard wegdek. Je kunt de rolweerstand verminderen door je banden keihard op te pompen.

DE RESULTANTE

In figuur 2 zie je een auto die vanuit stilstand wordt aangeduwd. Op de auto werken vier krachten: de zwaartekracht F_z, de normaalkracht F_n, de duwkracht F_{duw} en de weerstandskracht F_w. Deze krachten grijpen aan op verschillende plaatsen, maar zijn in deze figuur allemaal getekend vanuit het zwaartepunt Z. Zo kun je gemakkelijker de resultante F_{res} bepalen. De resultante wordt ook wel de resulterende kracht genoemd.

Zoals je in figuur 2 kunt zien, heffen de zwaartekracht en de normaalkracht elkaar op: ze zijn even groot en tegengesteld gericht. De duwkracht en de weerstandskracht werken ook in tegengestelde richtingen, maar deze krachten heffen elkaar niet op: de duwkracht is duidelijk groter dan de weerstandskracht. Dat betekent dat er een resultante is die naar rechts werkt (in de bewegingsrichting van de auto).

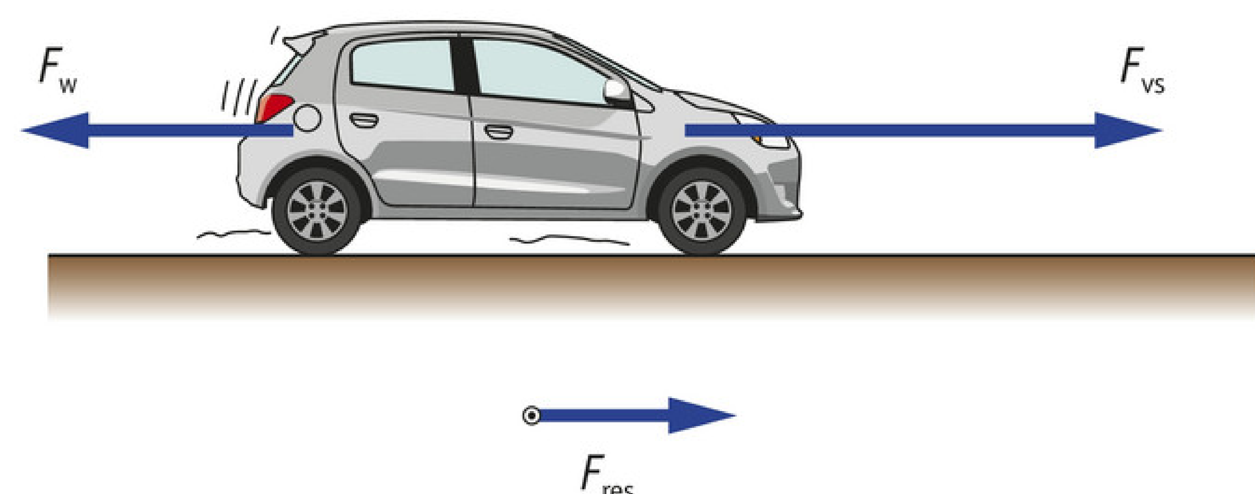


figuur 2 Vier krachten en hun resultante.

DE RESULTANTE LAAT DE SNELHEID VERANDEREN

Als je zachtjes tegen een auto duwt, ontstaan er weerstandskrachten die precies even groot zijn als jouw duwkracht. De resultante blijft daardoor 0 N. De auto komt in dat geval niet in beweging.

Als je steeds harder gaat duwen, worden de weerstandskrachten ook steeds groter. Op een gegeven moment kunnen de weerstandskrachten (F_w) de voortstuwende kracht (F_{vs}) niet meer compenseren. De resultante wordt dan groter dan 0 N. De auto begint als gevolg daarvan steeds sneller te bewegen in de richting van de resultante (figuur 3).

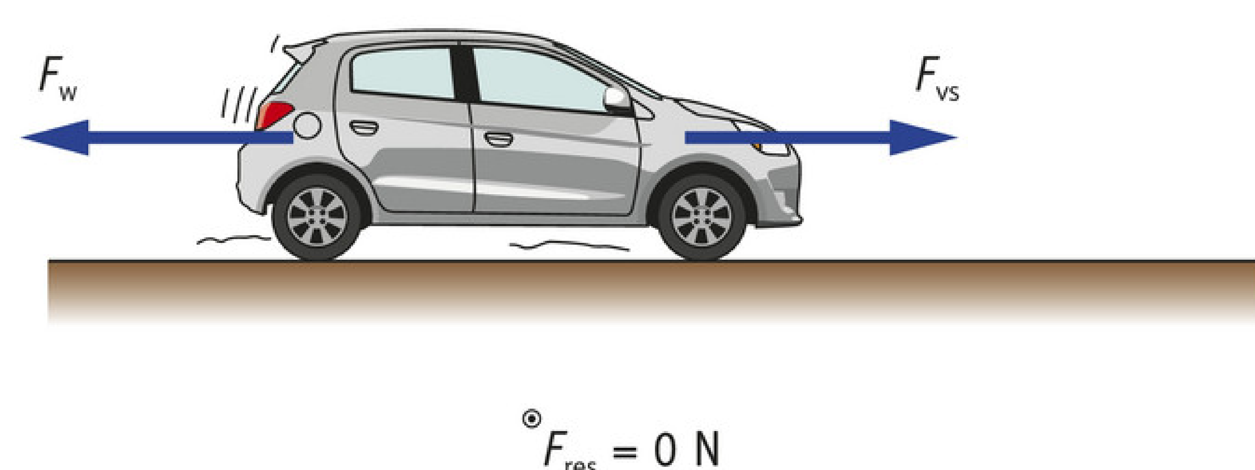


De auto versnelt: de resultante werkt in dezelfde richting als de bewegingsrichting.

figuur 3 $F_{res} > 0$: de auto versnelt.

- Als de voortstuwende kracht op een voorwerp groter is dan alle weerstandskrachten samen, beweegt het voorwerp versneld.

Als de auto de gewenste snelheid heeft, duw je iets minder hard. De voortstuwende kracht en de weerstandskrachten worden dan weer even groot. De resultante is opnieuw 0 N en de auto beweegt met constante snelheid verder (figuur 4).



De auto rijdt met een constante snelheid: de resultante is 0 N.

figuur 4 $F_{res} = 0$: de auto beweegt eenparig.

- Als de voortstuwende kracht op het voorwerp even groot is als alle weerstandskrachten samen, verandert de snelheid niet.

Met andere woorden: als de resultante op een voorwerp 0 N is en het voorwerp beweegt al, dan beweegt het met dezelfde snelheid verder. Staat het voorwerp stil, dan blijft het ook stilstaan.

Deze regel is ook wel bekend als de **eerste wet van Newton**.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Jules rijdt met constante snelheid over de dijk, tegen de wind in naar school. De voortstuwende kracht (F_{vs}) op zijn fiets is voortdurend gelijk aan 30 N.

1 Bereken de totale weerstandskracht.

gegevens $F_{vs} = 30$ N

gevraagd $F_w = ?$

uitwerking De resulterende kracht is 0 N, omdat Jules met constante snelheid beweegt. Er geldt dus $F_w = F_{vs} = 30$ N.

2 Plotseling gaat de wind liggen, waardoor de totale weerstandskracht afneemt tot 20 N. Bereken hoe groot de resulterende kracht op Jules dan wordt. Leg uit hoe de beweging van Jules daardoor verandert.

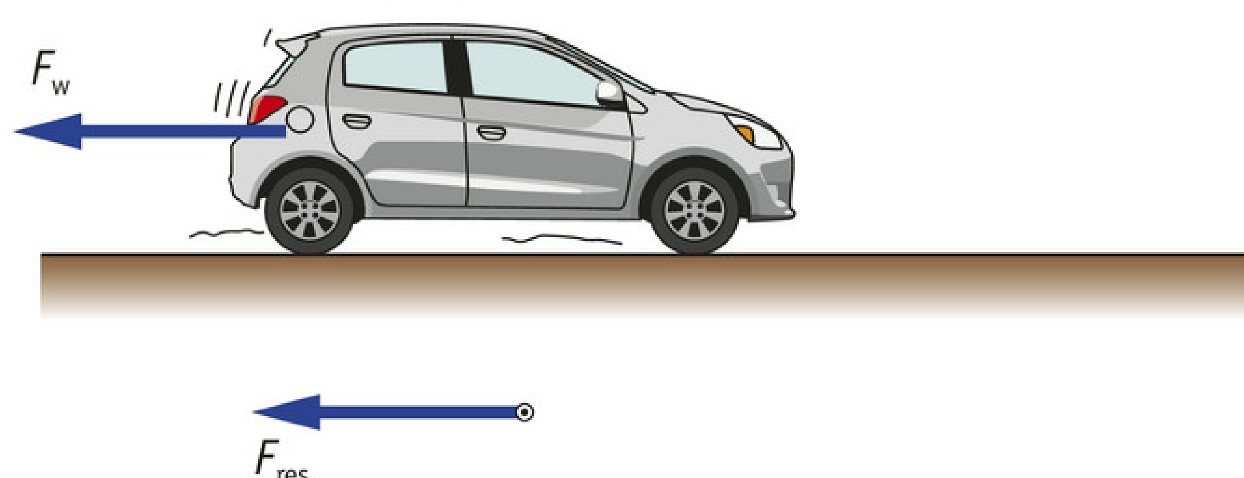
gegevens $F_{vs} = 30$ N
$F_w = 20$ N

gevraagd $F_{res} = ?$

uitwerking De resulterende kracht is $F_{res} = F_{vs} - F_w = 30 - 20 = 10$ N.

Omdat de voortstuwende kracht groter is dan alle weerstandskrachten samen, zal Jules' snelheid toenemen: hij versnelt.

Als je na een tijdje stopt met duwen, blijven alleen de weerstandskrachten over. De resultante is dan even groot als alle weerstandskrachten samen en werkt tegen de bewegingsrichting in (figuur 5). De auto vertraagt nu en komt ten slotte tot stilstand.



De auto vertraagt: de resultante werkt tegen de bewegingsrichting in.

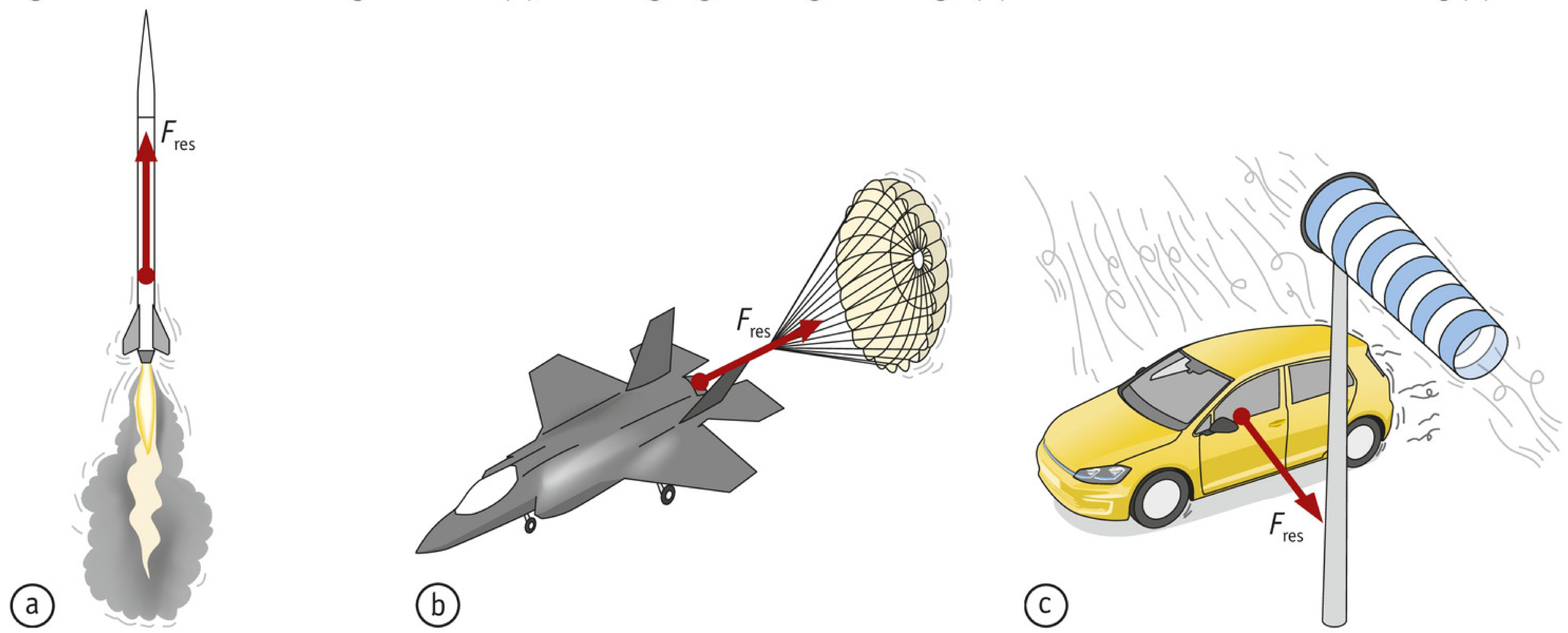
figuur 5 $F_{res} < 0$: de auto vertraagt.

- Als de voortstuwende kracht op het voorwerp kleiner is dan alle tegenwerkende krachten samen, beweegt het voorwerp vertraagd.

DE RESULTANTE LAAT DE RICHTING VERANDEREN

De resultante laat het voorwerp versnellen als ze in de bewegingsrichting werkt, zoals in figuur 6a. Ze laat het voorwerp vertragen als ze tegen de bewegingsrichting in werkt, zoals in figuur 6b. Maar de resultante kan een bewegend voorwerp ook van richting laten veranderen. Dat gebeurt bijvoorbeeld als er opeens een harde windstoot van opzij komt. Als de resultante loodrecht op de bewegingsrichting staat, zoals in figuur 6c, verandert alleen de richting van de beweging. De snelheid van het voorwerp blijft dan even groot, omdat er dan geen kracht in de bewegingsrichting werkt. Als de resultante een andere hoek met de bewegingsrichting maakt, verandert zowel de snelheid als de bewegingsrichting.

figuur 6 De raket beweegt versneld (a), het vliegtuig beweegt vertraagd (b) en de auto verandert van richting (c).



PLUS DE LUCHTWEERSTAND

Op een vallend voorwerp werken over het algemeen twee krachten: de zwaartekracht F_z en de luchtweerstand $F_{w,l}$. De zwaartekracht is tijdens de val constant. De luchtweerstandskracht hangt onder andere af van de snelheid van het voorwerp. Voor de luchtweerstandskracht op een vallend voorwerp geldt:

$$F_{w,l} = \tfrac{1}{2} C_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

Hierin is:

- $F_{w,l}$ de grootte van de luchtweerstandskracht in newton (N);
- C_w de weerstandscoëfficiënt, een constante die afhangt van de stroomlijn van het voorwerp (geen eenheid);
- ρ de dichtheid van de lucht in kilogram per kubieke meter (kg/m^3);
- A de frontale oppervlakte in vierkante meter (m^2);
- v de snelheid van het voorwerp in meter per seconde (m/s).

Als je een voorwerp loslaat, neemt de snelheid en dus de luchtweerstandskracht toe. Er komt dus een moment dat de luchtweerstandskracht en de zwaartekracht even groot zijn. De resultante op het voorwerp is dan nul en volgens de eerste wet van Newton is de snelheid van het voorwerp dan constant.

Dit laatste kun je goed zien als je bijvoorbeeld gaat skydiven. Dat is een populaire sport waarbij je uit een vliegtuig springt en daarna een tijdlang 'vrij' naar beneden valt. Na een tijdje val je met een constante snelheid. Tijdens de val kun je dan allerlei oefeningen uitvoeren. Door het veranderen van de vorm van je lichaam kun je bijvoorbeeld meer of minder wind vangen. Bij de 'buikligging' (figuur 7) maak je je frontale oppervlakte (*A*) en weerstandscoëfficiënt (C_w) zo groot mogelijk. Op die manier verhoog je de luchtweerstand die je ondervindt. Bij deze ligging krijg je een constante snelheid van rond de 180 km/h.

De maximale constante snelheid (ongeveer 300 km/h) bereik je als je met je hoofd naar beneden valt. Dan zijn je frontale oppervlakte en weerstandscoëfficiënt minimaal.

Na de oefeningen trek je als skydiver je parachute open. Dan is de luchtweerstand opeens veel groter dan de zwaartekracht en neemt je snelheid af. Bij de meeste sprongen duurt de val zonder parachute ongeveer één minuut.



figuur 7 Een skydiver in buikligging.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Waardoor ontstaan de luchtweerstand en de rolweerstand op een rijdende auto?
b Hoe kun je de luchtweerstand verminderen die op je lichaam werkt als je fietst?
c Waarom pompt een wielrenster de banden van haar fiets zo hard mogelijk op?
d Wat zegt de eerste wet van Newton over een voorwerp dat al beweegt?

2 Op welke manier beweegt een voorwerp:

a als de resulterende kracht in de bewegingsrichting werkt?
b als de resulterende kracht op het voorwerp gelijk is aan 0 N?
c als de resulterende kracht tegen de bewegingsrichting in werkt?
d als de resulterende kracht loodrecht op de bewegingsrichting staat?

TOEPASSING

3 Tijdens een demarrage (een poging om uit het peloton weg te fietsen) versnelt een wielrenner in korte tijd van 45 naar 68 km/h.
Beredeneer of de grootte van de weerstandskrachten daardoor ook verandert en zo ja, hoe.

4 Marlous trekt een slee met haar vriendin erop door de sneeuw. Ze trekt met een kracht van 50 N. De slee beweegt met een constante snelheid van 4 km/h door de sneeuw.

a Welke kracht werkt hier vooral de beweging tegen?
b Hoe groot is de weerstandskracht die op de slee werkt?

5 Een verkoopster wil een doos met nieuwe kleding de winkel inschuiven. Ze oefent een horizontale kracht van 230 N uit op de doos. De doos verschuift niet.

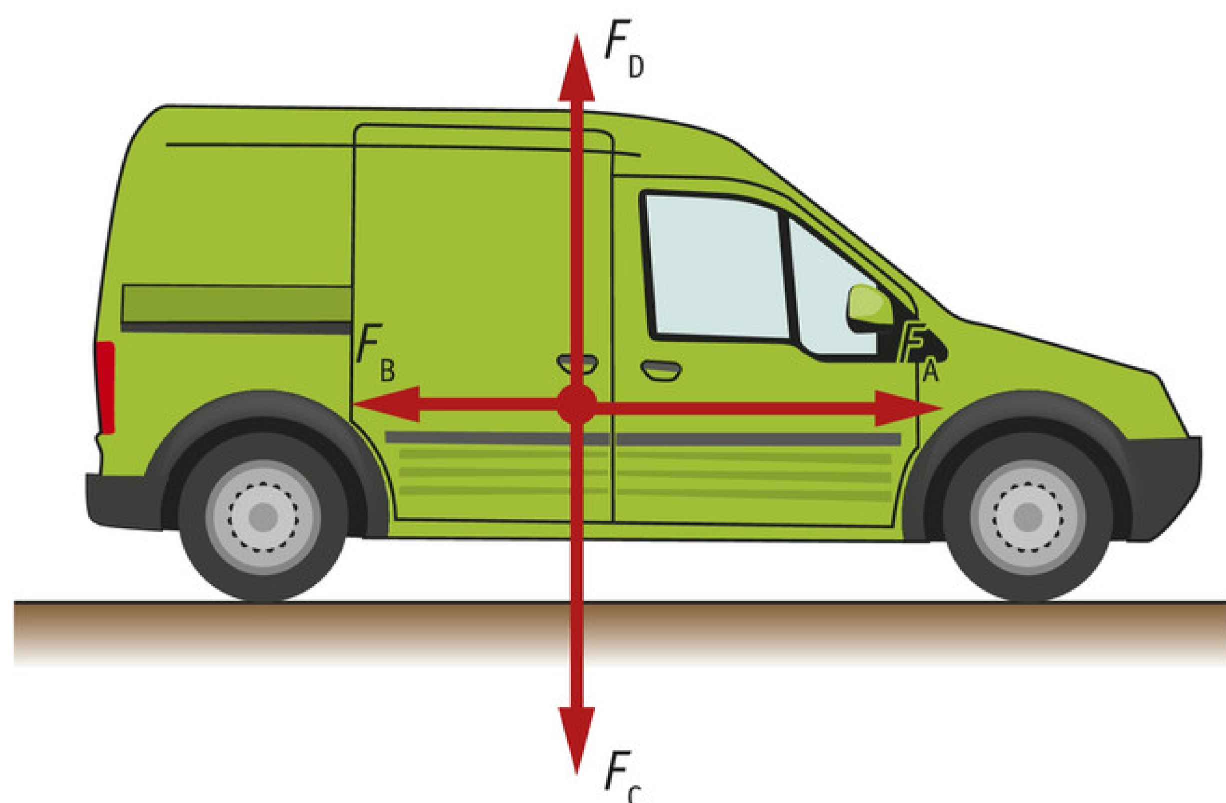
a Hoe groot is de weerstandskracht op de doos, zolang de verkoopster met deze kracht duwt?
b Hoe groot is de weerstandskracht op de doos als de verkoopster stopt met duwen?
c Als de verkoopster even later met 350 N duwt, beweegt de doos met een constante snelheid over de vloer.
Hoe groot is de weerstandskracht dan? Licht je antwoord toe.

6 Op een rijdend busje werken vier krachten F_A, F_B, F_C en F_D (figuur 8). Om de tekening eenvoudig te houden, heeft de tekenaar alle krachten laten aangrijpen in het zwaartepunt Z.

a Geef de namen van deze vier krachten.

- F_A = ...
- F_B = ...
- F_C = ...
- F_D = ...

b De grootte van de krachten F_A en F_B kan veranderen.
Wanneer is F_B gelijk aan 0 N? Licht je antwoord toe.
c Hoe beweegt het busje als $F_A > F_B$? Licht je antwoord toe.
d Hoe beweegt het busje als $F_A = F_B$? Licht je antwoord toe.
e Hoe beweegt het busje als $F_A < F_B$? Licht je antwoord toe.



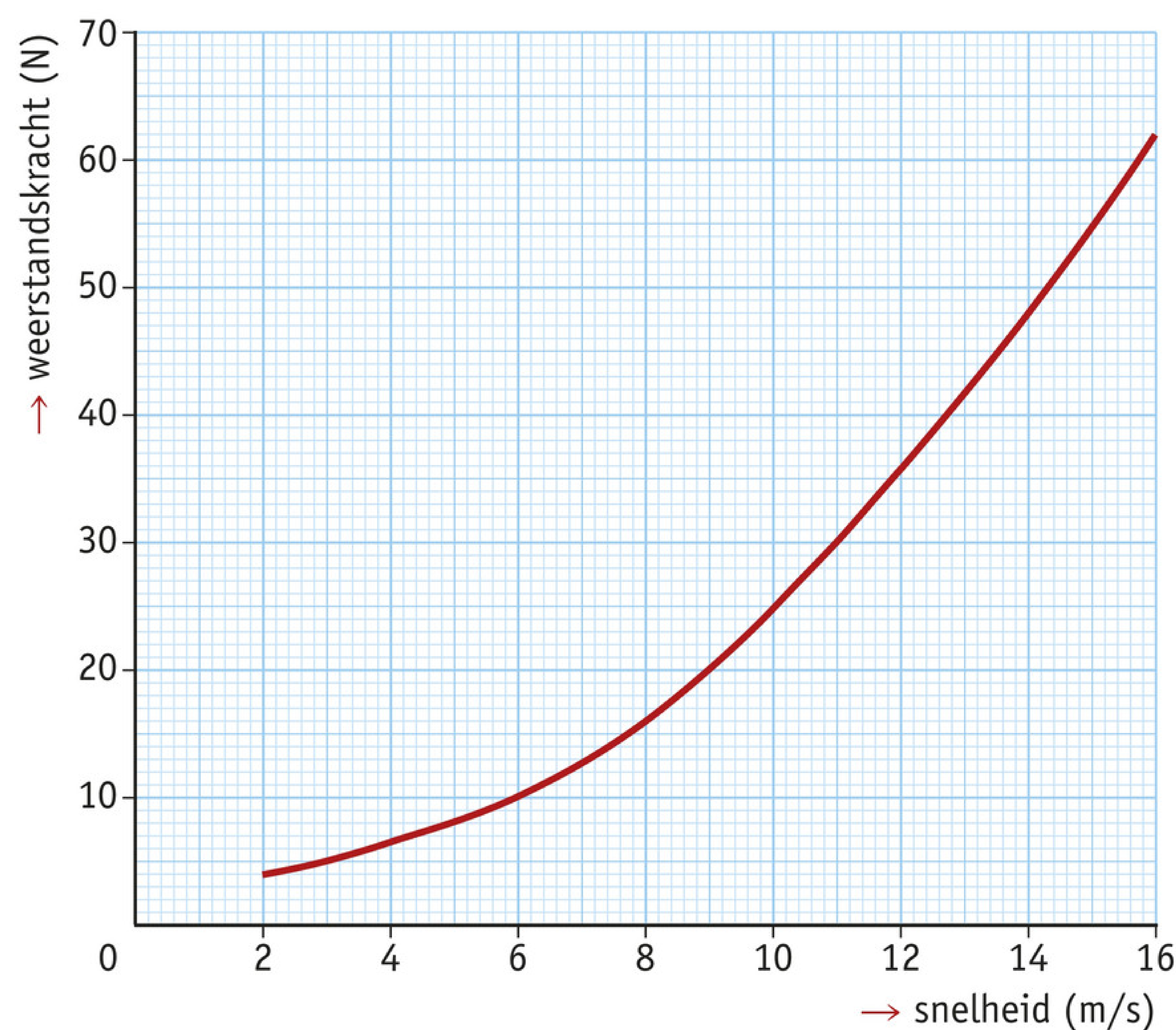
figuur 8 De krachten op een busje.

7 Carla traint regelmatig op haar racefiets. In figuur 9 is het verband getekend tussen de totale weerstandskracht en haar snelheid.

a Carla rijdt eerst een poosje met een constante snelheid van 11 m/s. Bepaal de grootte van de voortstuwende kracht.

b Op een gegeven moment begint Carla harder te trappen. Op haar fiets werkt dan enige tijd een (constante) voortstuwende kracht van 40 N. Hoe groot is de resultante op het moment dat ze begint te versnellen?

c Bepaal de (constante) eindsnelheid die Carla uiteindelijk bereikt.



figuur 9 Het verband tussen de snelheid en de weerstandskracht.

★ 8 Op een liftkooi werken twee krachten: de zwaartekracht (F_z) en de spankracht in de kabel (F_s). De grootte van de weerstandskracht is te verwaarlozen.
Vergelijk de grootte van F_z met de grootte van F_s in de volgende situaties. Licht je antwoorden toe.

a De kooi beweegt omhoog; de snelheid neemt toe.

b De kooi beweegt omhoog met een constante snelheid.

c De kooi beweegt omhoog; de snelheid neemt af.

d De kooi hangt stil zonder te bewegen.

e De kooi beweegt omlaag; de snelheid neemt toe.

f De kooi beweegt omlaag; de snelheid neemt af.

★ 9 Alima rijdt een klein eindje op haar fiets. In figuur 10 zie je het (v,t)-diagram van haar beweging. Het diagram is verdeeld in vijf delen: A, B, C, D en E.
Is de voortstuwende kracht F_{vs} groter dan F_w, gelijk aan F_w of kleiner dan F_w:

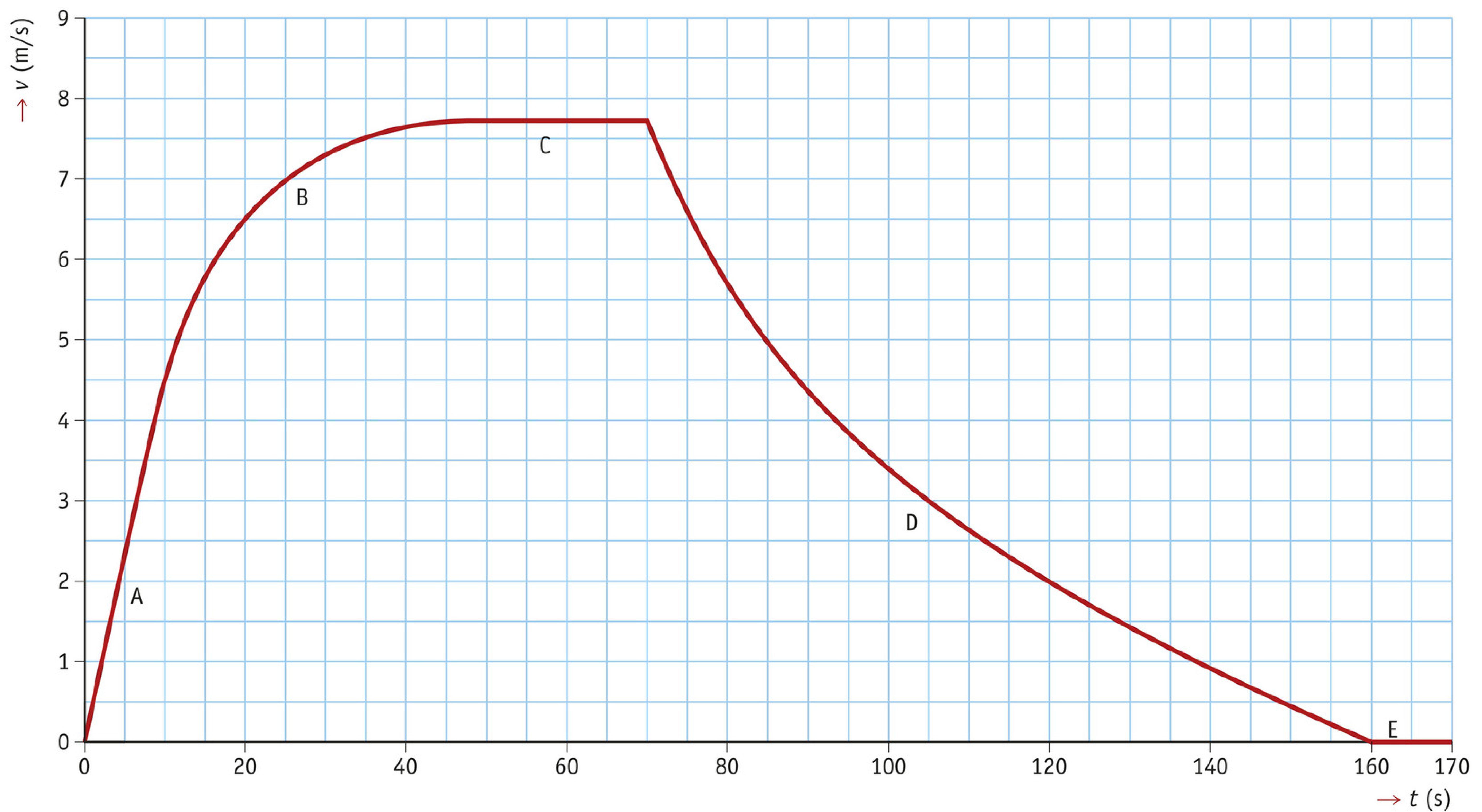
a in deel A van de beweging? Licht je antwoord toe.

b in deel B van de beweging? Licht je antwoord toe.

c in deel C van de beweging? Licht je antwoord toe.

d in deel D van de beweging? Licht je antwoord toe.

e in deel E van de beweging? Licht je antwoord toe.



figuur 10 Het (v,t)-diagram van Alima's beweging.

10 In figuur 11 zie je Anton die aan het bungeejumpen is.
Bij deze opdracht mag je de luchtweerstand verwaarlozen.

a In de situatie op de foto oefent het elastiek nog geen veerkracht uit op Anton.
Waaraan zie je dat?

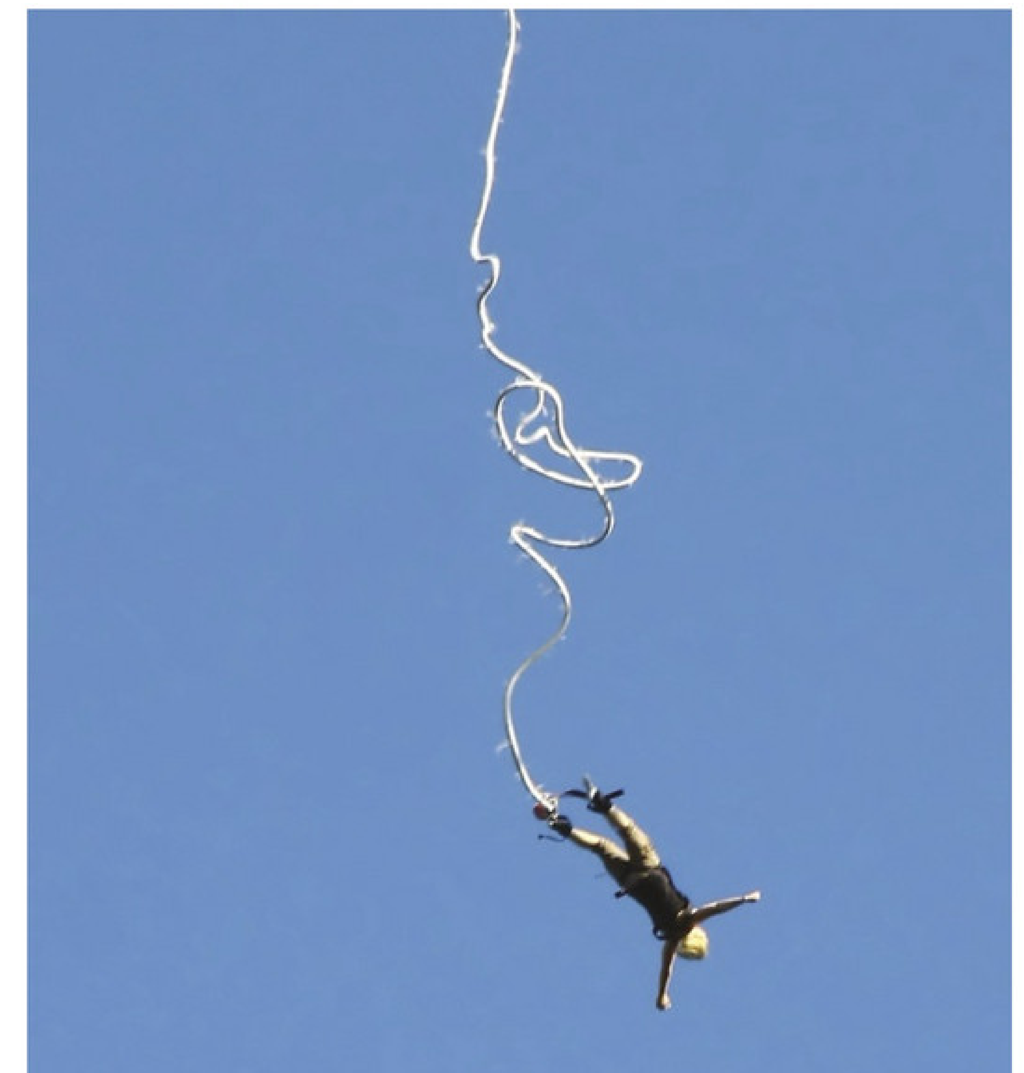
b Wanneer begint de veerkracht van het elastiek op Anton te werken?

c Anton merkt op een bepaald moment dat de veerkracht van het elastiek groter is dan zijn zwaartekracht.
Waaraan merkt hij dat?

d Wanneer is de veerkracht die op Anton wordt uitgeoefend het grootst?

e In welke richting werkt de resultante op Anton op dat moment?

f Wat gebeurt er daarna dus met Anton?



figuur 11 Een bungeejumper.

 **Test je kennis met de *Test jezelf*.**

PLUS DE LUCHTWEERSTAND

11 Een skydiver springt uit een vliegtuig. In figuur 12 zie je twee momentopnamen van zijn sprong. In beide situaties valt de skydiver met een *constante* snelheid.

a Wat kun je zeggen over de grootte van de resultante als je de twee situaties met elkaar vergelijkt?

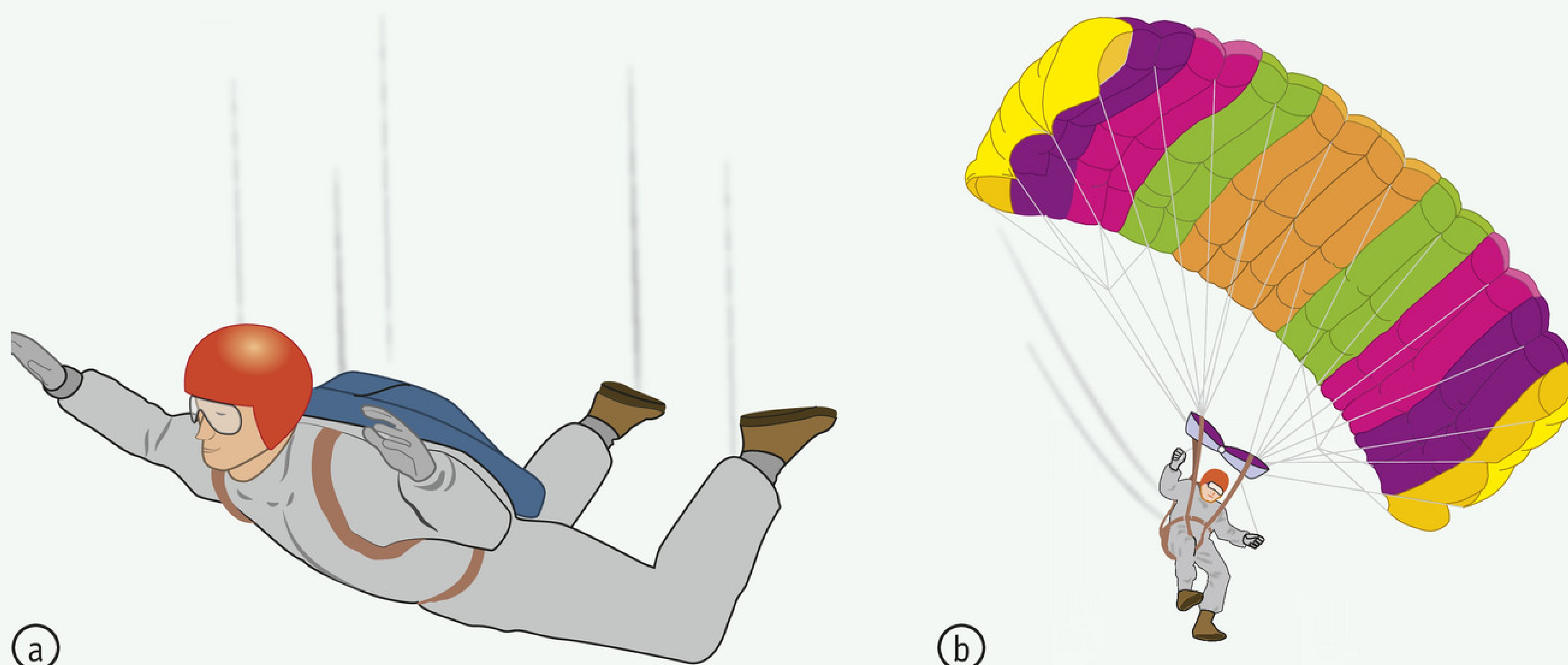
b In figuur a is de (constante) snelheid *groter dan* / *gelijk aan* / *kleiner dan* de eindsnelheid in figuur b.

c Kies het juiste alternatief en licht je antwoord toe.
In figuur a is de waarde van C_w *groter dan / gelijk aan / kleiner dan* de waarde van C_w in figuur b.

d In figuur a is de frontale oppervlakte *groter dan / gelijk aan / kleiner dan* de frontale oppervlakte in figuur b.

e Kies het juiste alternatief en licht je antwoord toe.
In figuur a is de luchtweerstand *groter dan / gelijk aan / kleiner dan* de luchtweerstand in figuur b.

figuur 12 Een skydiver op twee momenten van zijn sprong.



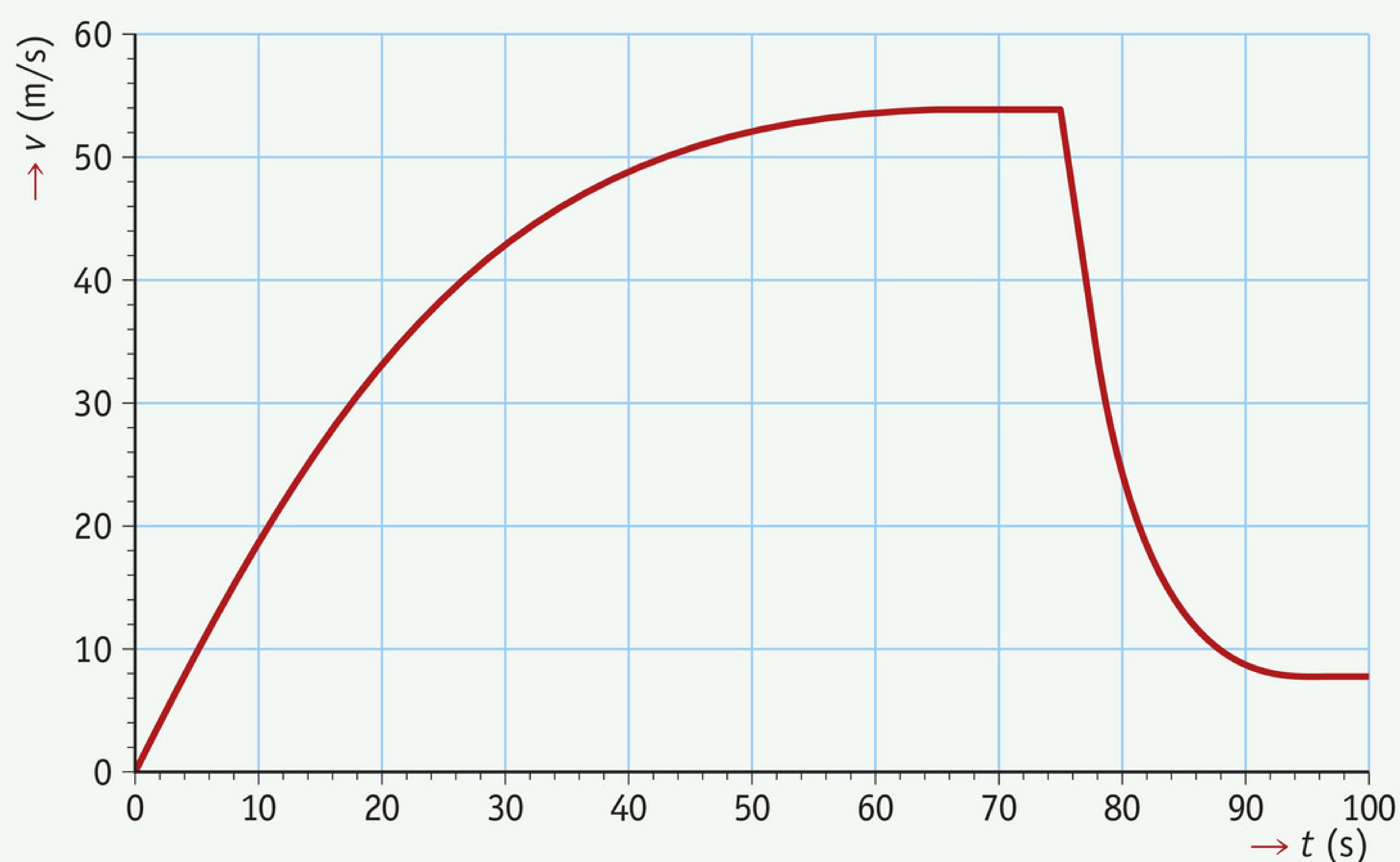
12

In figuur 13 zie je hoe de snelheid van de skydiver verandert tijdens zijn sprong.

a Bepaal de maximale constante snelheid van de skydiver tijdens de val zonder parachute, en met de parachute.

b De massa van de parachutist met parachute is 100 kg. De frontale oppervlakte van de skydiver tijdens de val zonder parachute is 0,80 m². De dichtheid van de lucht is 1,29 kg/m³.
Bereken de waarde van C_w van de skydiver zonder parachute.

c Het antwoord dat je bij opdracht b hebt gevonden, is in werkelijkheid anders. Dit komt omdat de dichtheid van de lucht op grotere hoogte kleiner is dan 1,29 kg/m³.
Leg uit of het antwoord dat je bij opdracht b hebt gevonden iets groter of juist kleiner is dan de werkelijke waarde.



figuur 13 Het (*v*,*t*)-diagram van de skydiver.

2 Versnellen en vertragen

LEERDOELEN

4.2.1 Je kunt een beweging vastleggen in een (v,t)-diagram.
4.2.2 Je kunt de soort beweging herkennen in een (v,t)-diagram.
4.2.3 Je kunt uitleggen wat versnelling en vertraging betekenen.
4.2.4 Je kunt de versnelling van een beweging berekenen.
4.2.5 Je kunt km/h omrekenen naar m/s, en omgekeerd.
4.2.6 Je kunt de afgelegde afstand van een beweging bepalen in een (v,t)-diagram.
PLUS 4.2.7 Je kunt niet-eenparig versnelde bewegingen analyseren en de verplaatsing en gemiddelde snelheid van zulke bewegingen bepalen in een (v,t)-diagram.

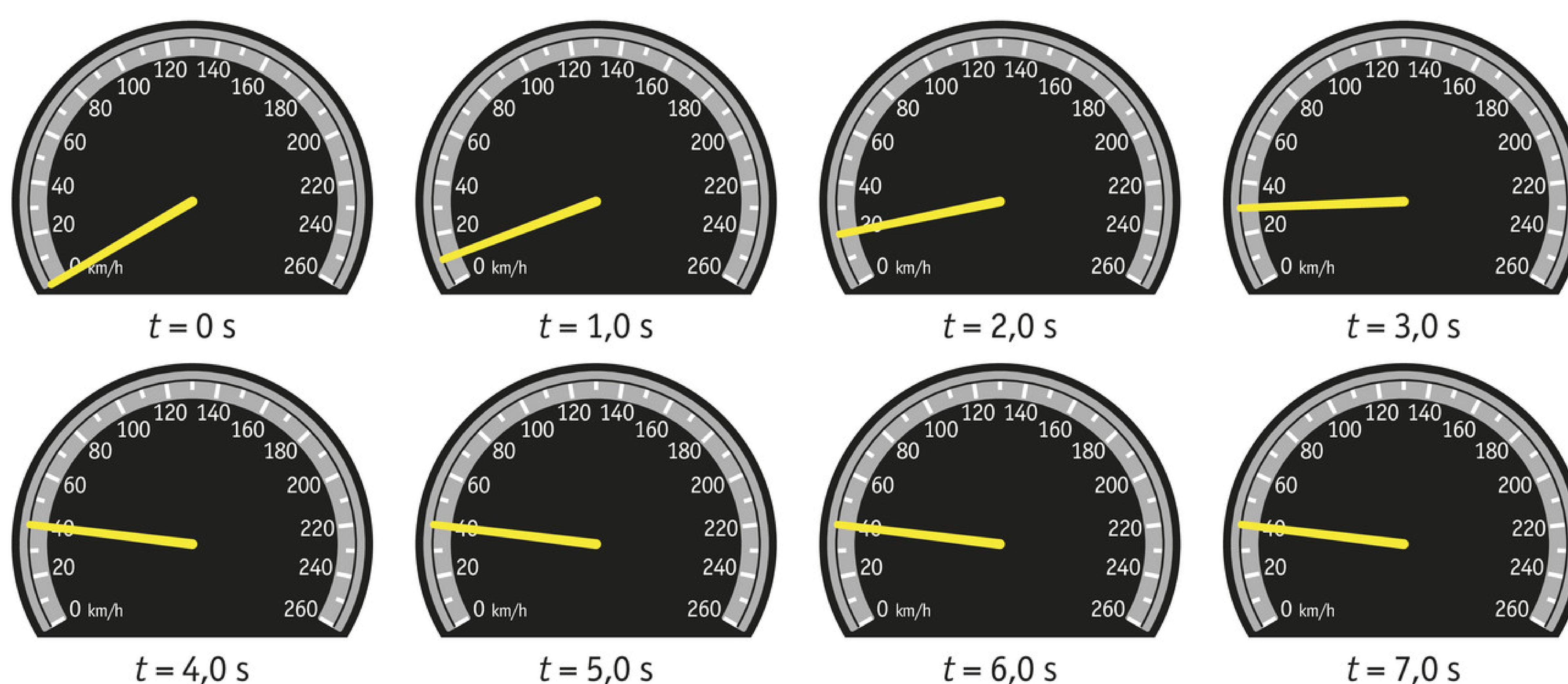
Als je in een verkeersvliegtuig zit, vlieg je met een snelheid van ruim 900 km/h. De karretjes van een achtbaan halen 'maar' 150 km/h. Toch voelt een rit in een achtbaan veel spannender dan een vlucht met een vliegtuig. Dat komt doordat de karretjes enorm snel optrekken en afremmen. Het is blijkbaar niet de snelheid die je in je maag voelt, maar de snelheidsverandering.

EEN (*V*,*T*)-DIAGRAM MAKEN

Op de snelheidsmeter van een auto kun je zien hoe snel de auto op dat moment rijdt (figuur 1). Als je de snelheidsmeter met tussenpozen van 1 seconde zou fotograferen, krijg je een serie afbeeldingen zoals in figuur 2. In de figuur kun je aflezen hoe groot de snelheid is op tijdstip t = 0 s, t = 1,0 s, t = 2,0 s, enzovoort.

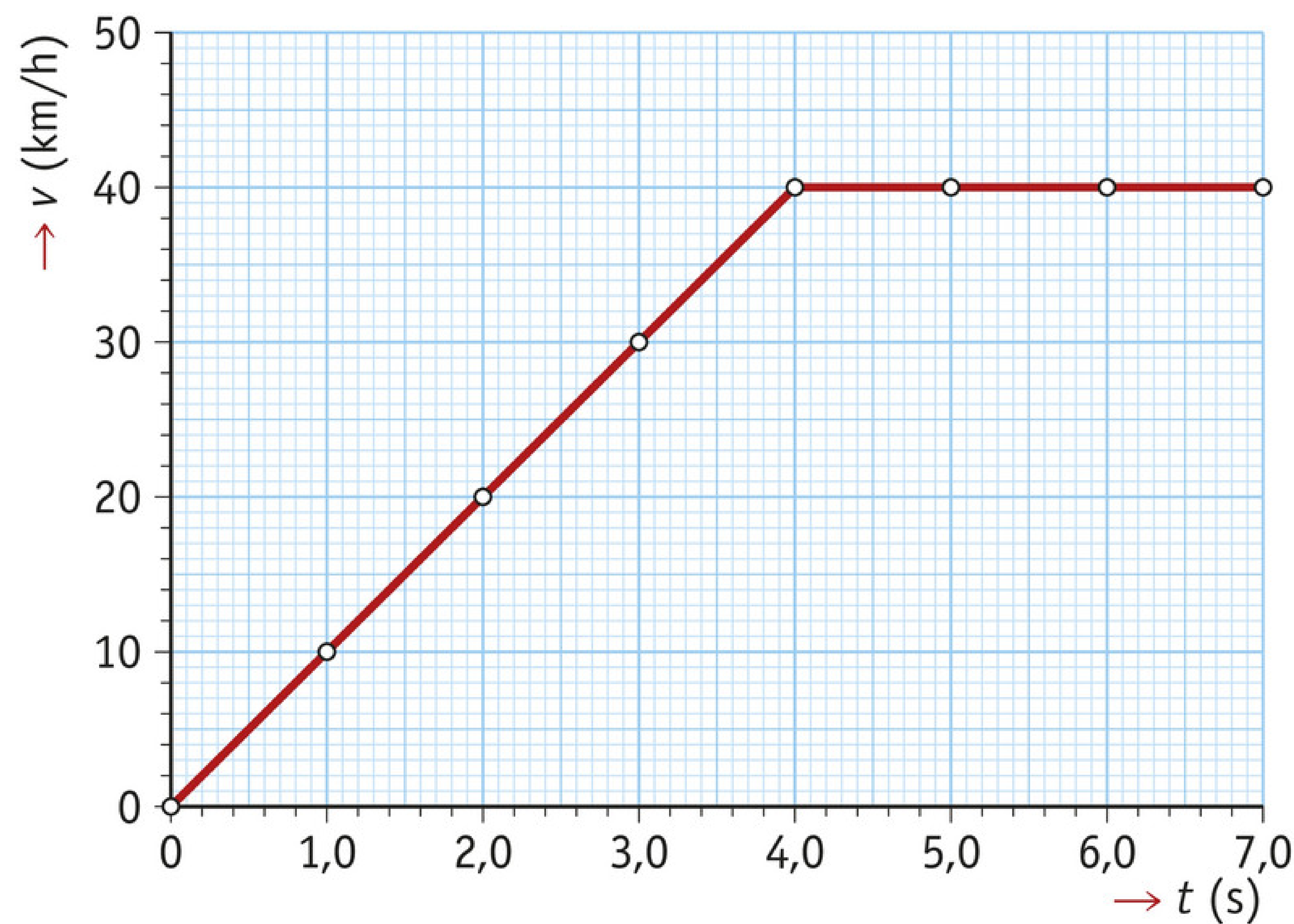


figuur 1 Een automobilist kijkt regelmatig even op de snelheidsmeter.



figuur 2 Op de snelheidsmeter kun je zien hoe snel de auto rijdt.

Met de gegevens uit figuur 2 is het **(snelheid,tijd)-diagram** in figuur 3 getekend. In zo'n diagram kun je in één oogopslag zien hoe de hele beweging is verlopen. Een (snelheid,tijd)-diagram wordt ook vaak een **(*v*,*t*)-diagram** genoemd. Langs de horizontale as staat de tijd *t*, langs de verticale as de snelheid *v*.



figuur 3 Het (*v*,*t*)-diagram van een optrekkende auto.

Je ziet in het diagram hoe groot de snelheid is op elk moment van de beweging.

- Van $t = 0$ s tot $t = 4{,}0$ s is de beweging **versneld**. De auto begint te bewegen op $t = 0$ s en trekt daarna geleidelijk op. De snelheid wordt dus steeds groter.
- Op $t = 4{,}0$ s heeft de auto de snelheid bereikt waarmee de bestuurder verder wil rijden: 40 km/h. De snelheid van de auto verandert daarna niet meer. Zo'n beweging waarbij de snelheid constant is, noem je een **eenparige beweging**.

Let erop dat je een (*v*,*t*)-diagram (snelheid tegen tijd) niet verwart met een (*x*,*t*)-diagram (plaats tegen tijd). Kijk altijd eerst naar de grootheden (*x* of *v*) en eenheden (m of m/s) die langs de assen staan. Daaraan kun je zien om wat voor soort diagram het gaat.

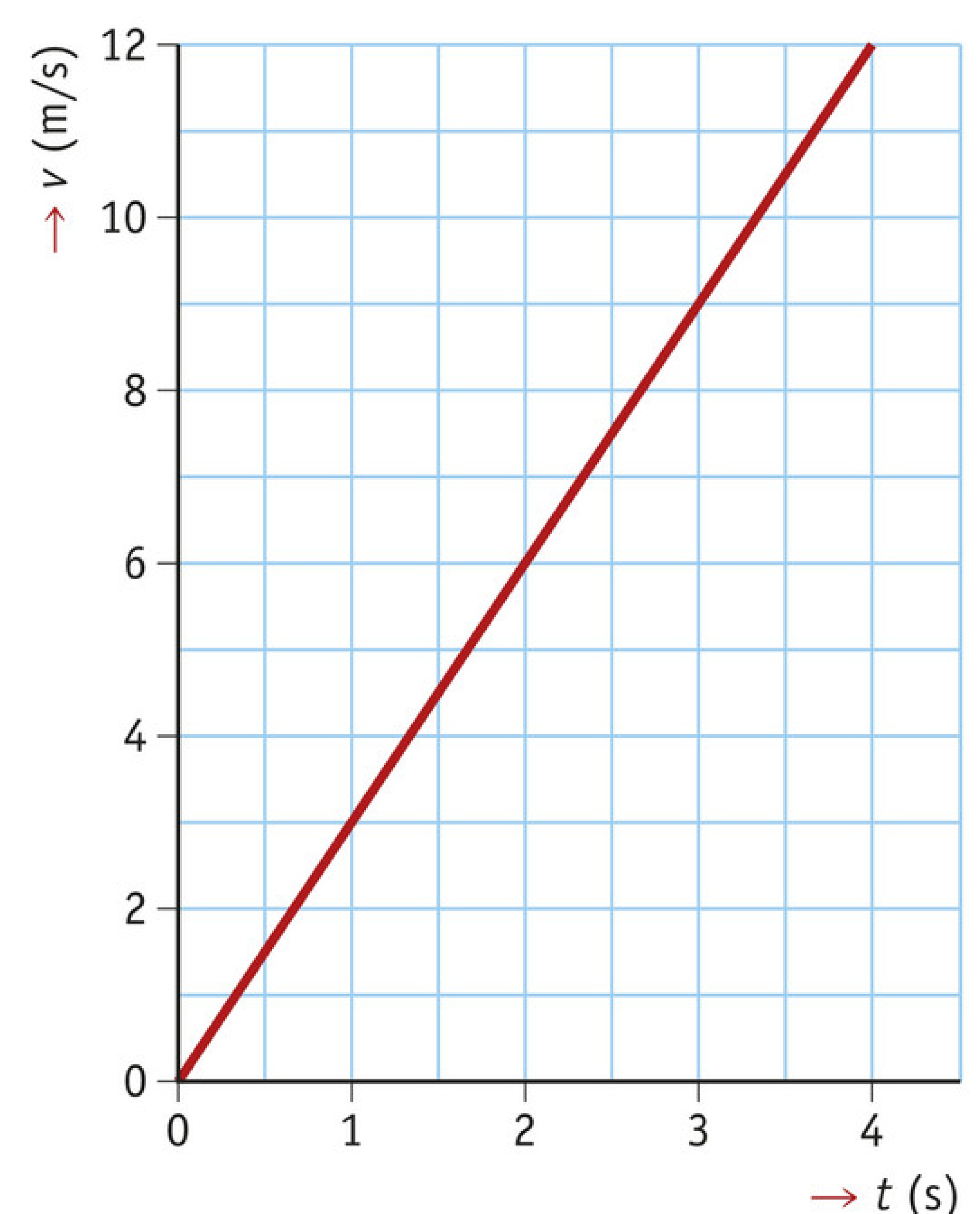
DE EENPARIG VERSNELDE BEWEGING

PROEF 2

In figuur 4 zie je een deel van het (*v*,*t*)-diagram in een testrapport van een auto. Je ziet dat de snelheid in de eerste vier seconden gelijkmatig toeneemt: de grafiek is een rechte lijn. Een beweging waarvan de snelheid gelijkmatig groter wordt, noem je een **eenparig versnelde beweging**.

Na 1 seconde is de snelheid 3 m/s, na 2 seconden 6 m/s, na 3 seconden 9 m/s, enzovoort. De snelheid neemt dus elke seconde met 3 m/s toe. De snelheidsverandering per seconde noem je de **versnelling**. Bij de beweging in figuur 4 is de versnelling 3 m/s per seconde. Dit wordt geschreven als 3 m/s^2. Je zegt: "Drie meter per seconde kwadraat."

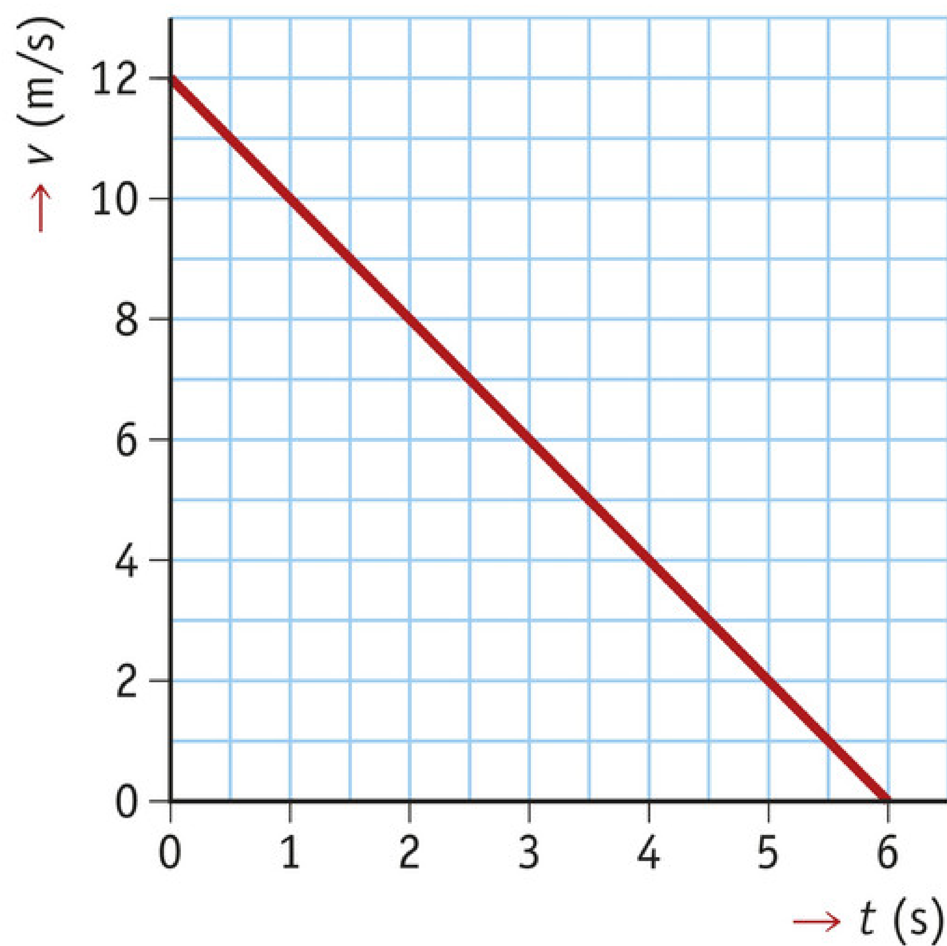
Het symbool voor de versnelling is de letter *a* (van acceleratie). Je noteert de versnelling dus als volgt: $a = 3$ m/s^2. Daarmee bedoel je dan dat de snelheid elke seconde toeneemt met 3 m/s.



figuur 4 Zo versnelt de testauto bij het wegrijden.

DE EENPARIG VERTRAAGDE BEWEGING

In figuur 5 is het (v,t)-diagram getekend van een auto die afremt voor een stoplicht. Je ziet dat de snelheid gelijkmatig afneemt tot de auto stilstaat: de beweging is **eenparig vertraagd**.



Figuur 5 Het (v,t)-diagram van een remmende auto.

In het (v,t)-diagram kun je aflezen dat de beginsnelheid van de auto 12 m/s is. Na 1 seconde is de snelheid 10 m/s, na 2 seconden 8 m/s, na 3 seconden 6 m/s, enzovoort. De snelheid neemt dus elke seconde af met 2 m/s. De snelheidsafname per seconde noem je de **vertraging**.
Je zegt nu dat de vertraging gelijk is aan 2 m/s^2. Je schrijft: $a = -2$ m/s^2

Zoals je ziet, gebruik je voor vertraging hetzelfde symbool als voor versnelling: de letter a. Het enige verschil is dat een versnelling altijd een positief getal is en een vertraging een negatief getal.

DE VERSNELLING BEREKENEN

Bij een eenparig versnelde beweging neemt de snelheid gelijkmatig toe van de beginsnelheid v_b tot de eindsnelheid v_e. Je kunt de snelheidsverandering Δv berekenen door de beginsnelheid van de eindsnelheid af te trekken: $\Delta v = v_e - v_b$

Om de versnelling te berekenen, deel je de snelheidsverandering Δv door de benodigde tijd Δt. Zo vind je de snelheidsverandering per seconde:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Hierin is:
- a de versnelling in meter per seconde kwadraat (m/s^2);
- $\Delta v = v_e - v_b$ de verandering van de snelheid in meter per seconde (m/s);
- $\Delta t = t_e - t_b$ de verandering in tijd in seconde (s).

VOORBEELDOPDRACHT 1

Een auto wil de snelweg oprijden. De bestuurder drukt het gaspedaal verder in, waardoor de auto 4,0 s lang eenparig versnelt. Hierdoor neemt de snelheid toe van 15 m/s tot 25 m/s.
Bereken de versnelling.

gegevens v_b = 15 m/s
v_e = 25 m/s
Δt = 4,0 s

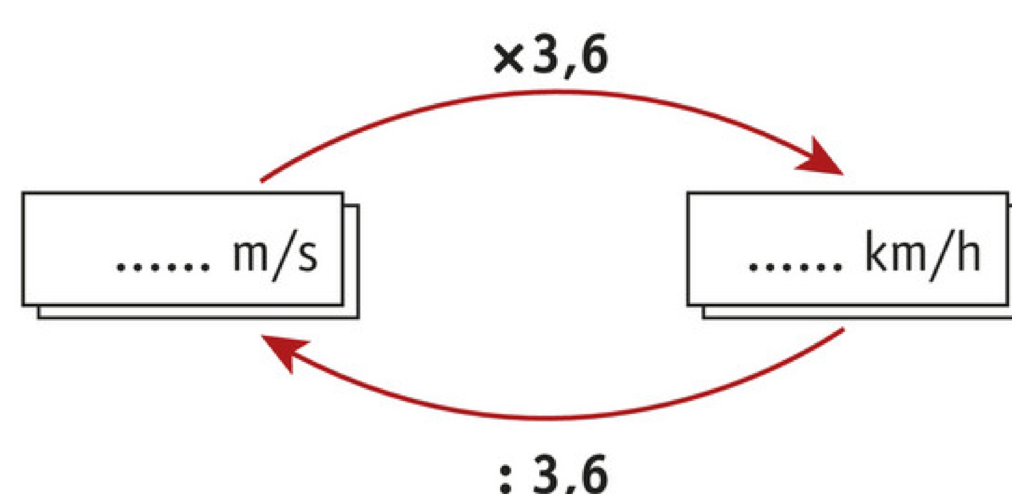
gevraagd a = ?

uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 25 - 15 = 10$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10}{4{,}0} = 2{,}5 \text{ m/s}^2$$

De snelheid van de auto neemt dus elke seconde toe met 2,5 m/s (= 9,0 km/h).

Vaak worden snelheden gegeven in de eenheid kilometer per uur (km/h). Om de versnelling te kunnen berekenen, moet je de gegeven snelheden eerst omrekenen naar de eenheid meter per seconde (m/s). Een snelheid van 90 km/h komt bijvoorbeeld overeen met $\frac{90}{3{,}6}$ = 25 m/s (figuur 6).



figuur 6 Zo reken je om van m/s naar km/h, en omgekeerd.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Een auto remt af voor een bocht. De auto beweegt 5,0 s eenparig vertraagd. In die tijd neemt de snelheid af van 81 km/h naar 27 km/h.
Bereken de vertraging.

gegevens v_b = 81 km/h = 22,5 m/s
v_e = 27 km/h = 7,5 m/s
Δt = 5,0 s

gevraagd a = ?

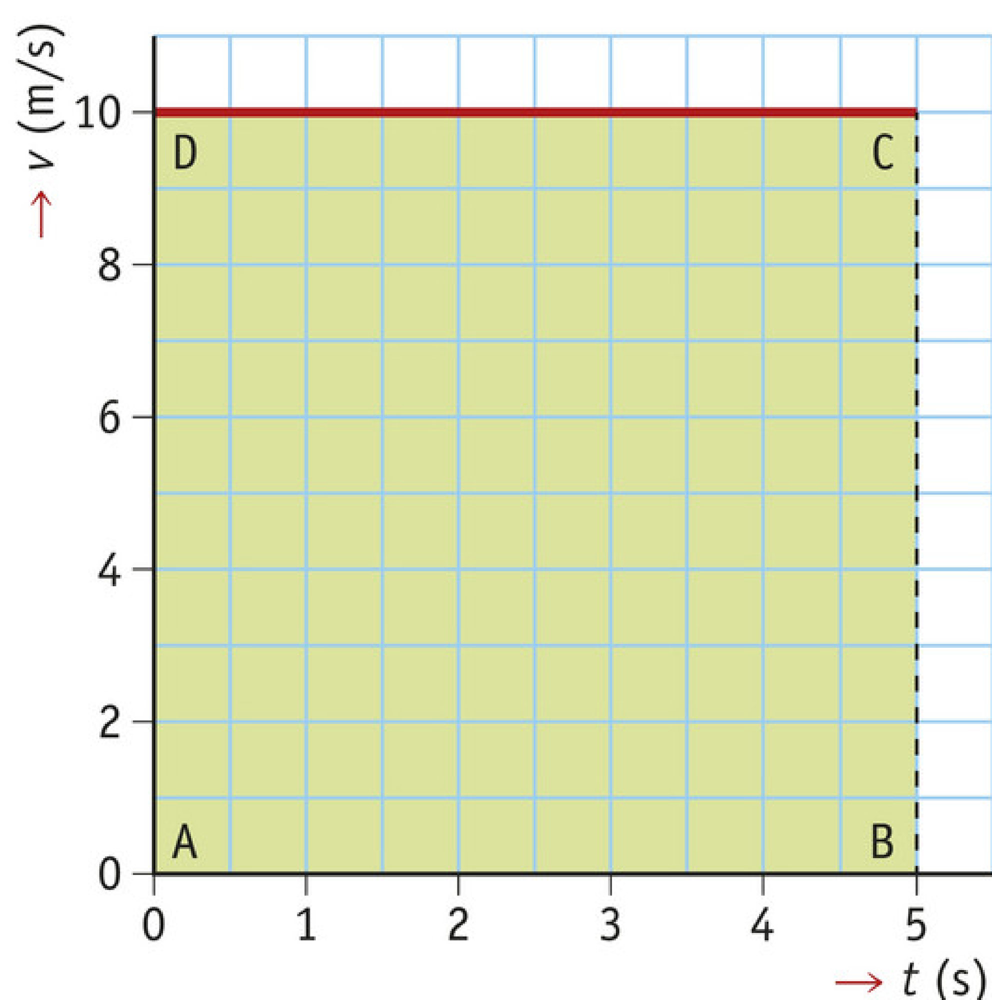
uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 7{,}5 - 22{,}5 = -15$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-15}{5{,}0} = -3{,}0 \text{ m/s}^2$$

DE AFGELEGDE AFSTAND BEPALEN

Als een auto versneld beweegt, legt hij tijdens die beweging een bepaalde afstand af. Je kunt de afgelegde afstand bepalen met het (*v*,*t*)-diagram van de beweging. ‘Bepalen’ wil in dit geval zeggen dat je de afstand berekent met behulp van de grafiek.

In figuur 7 zie je het (*v*,*t*)-diagram van een wielrenner die eenparig beweegt, met een constante snelheid van 10 m/s. De afstand die de wielrenner na 5,0 s heeft afgelegd, kun je berekenen met $s = v \cdot t = 10 \times 5{,}0 = 50$ m. Dit komt overeen met de oppervlakte onder het (*v*,*t*)-diagram; dat is de oppervlakte van rechthoek ABCD.



figuur 7 Het (*v*,*t*)-diagram van een eenparige beweging.

Ook bij een eenparig versnelde beweging kun je de afgelegde afstand vinden door de oppervlakte onder het (*v*,*t*)-diagram te bepalen.

VOORBEELDOPDRACHT 3

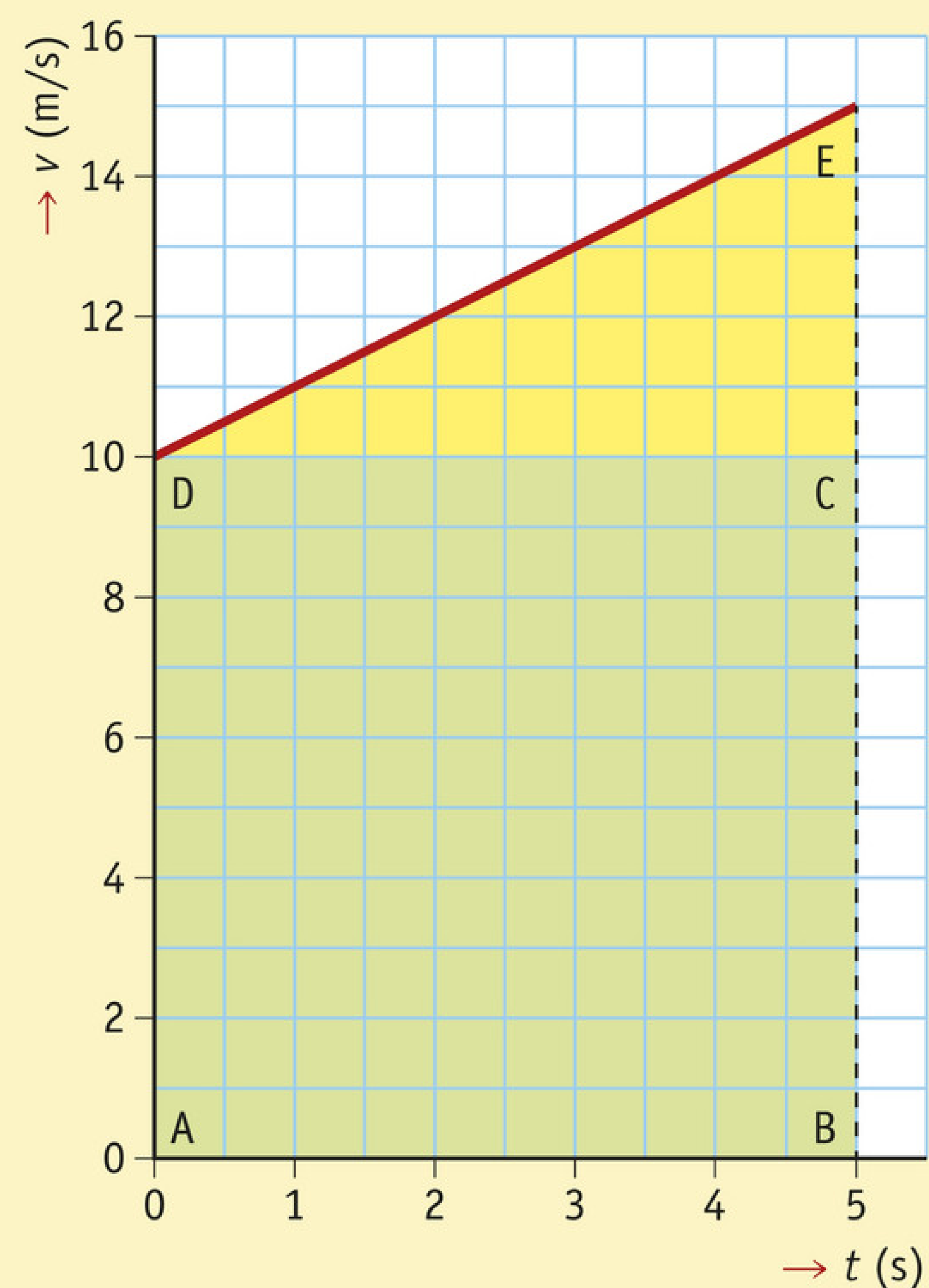
In figuur 8 zie je het (*v*,*t*)-diagram van een skiër die in 5,0 s eenparig versnelt van 36 km/h (10 m/s) naar 54 km/h (15 m/s).
Bepaal de afstand die de skiër heeft afgelegd.

gegevens v_b = 36 km/h = 10 m/s
v_e = 54 km/h = 15 m/s
t = 5,0 s

gevraagd s = ?

uitwerking De afgelegde afstand is gelijk aan de oppervlakte onder het (*v*,*t*)-diagram:
s = oppervlakte rechthoek ABCD + oppervlakte driehoek DCE
$= 5 \times 10 + ½ \times 5 \times (15 - 10) = 63$ m

De skiër legt dus een afstand af van 63 m.

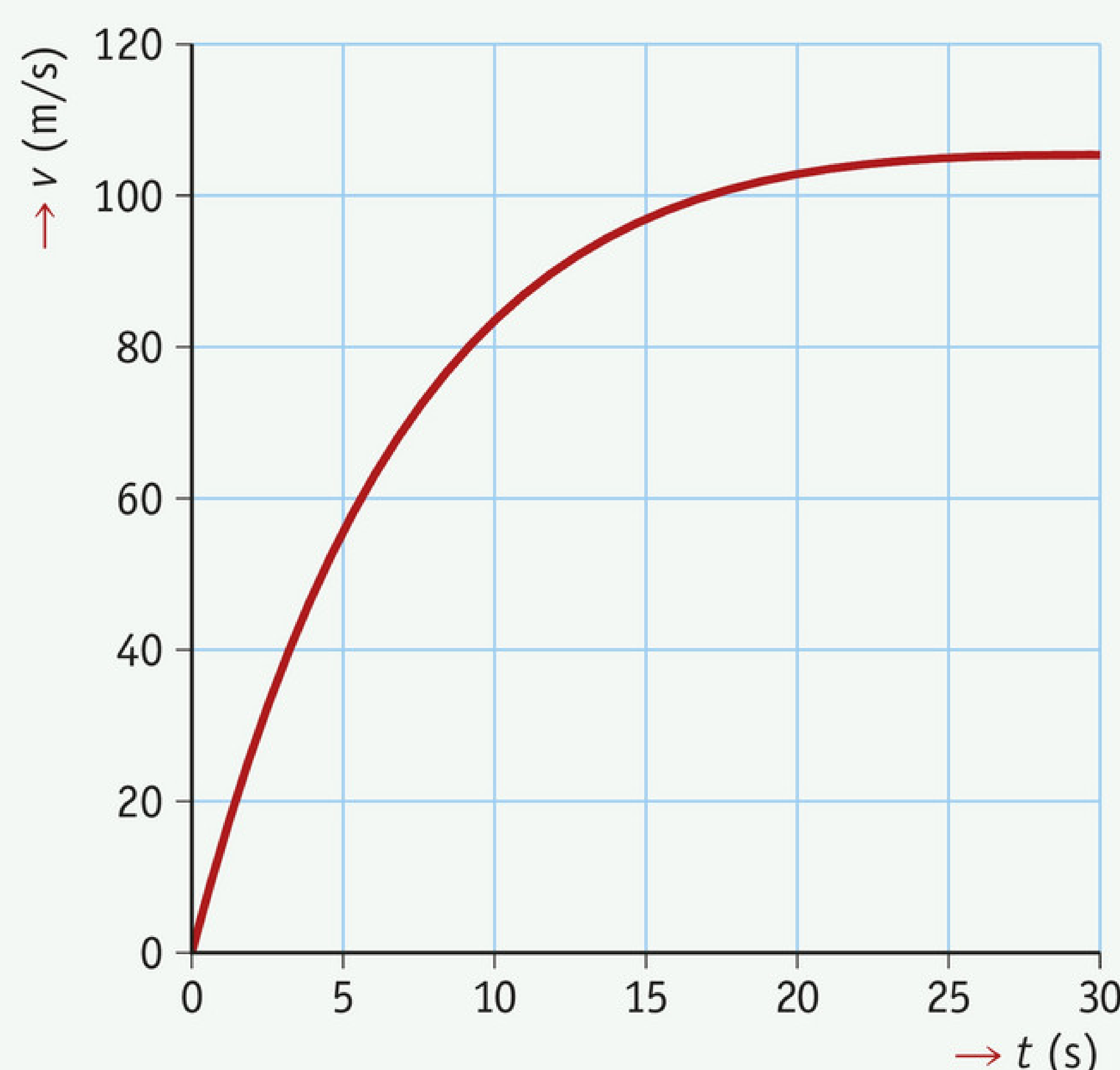


figuur 8 Het (*v*,*t*)-diagram van een eenparig versnelde beweging.

PLUS DE NIET-EENPARIGE VERSNELLING

Een beweging zoals in figuur 3 zul je in het dagelijks leven nooit tegenkomen. Een auto zal bij het optrekken niet voortdurend dezelfde versnelling hebben. Ook zal de beweging niet abrupt overgaan van een versnelde naar een eenparige beweging.

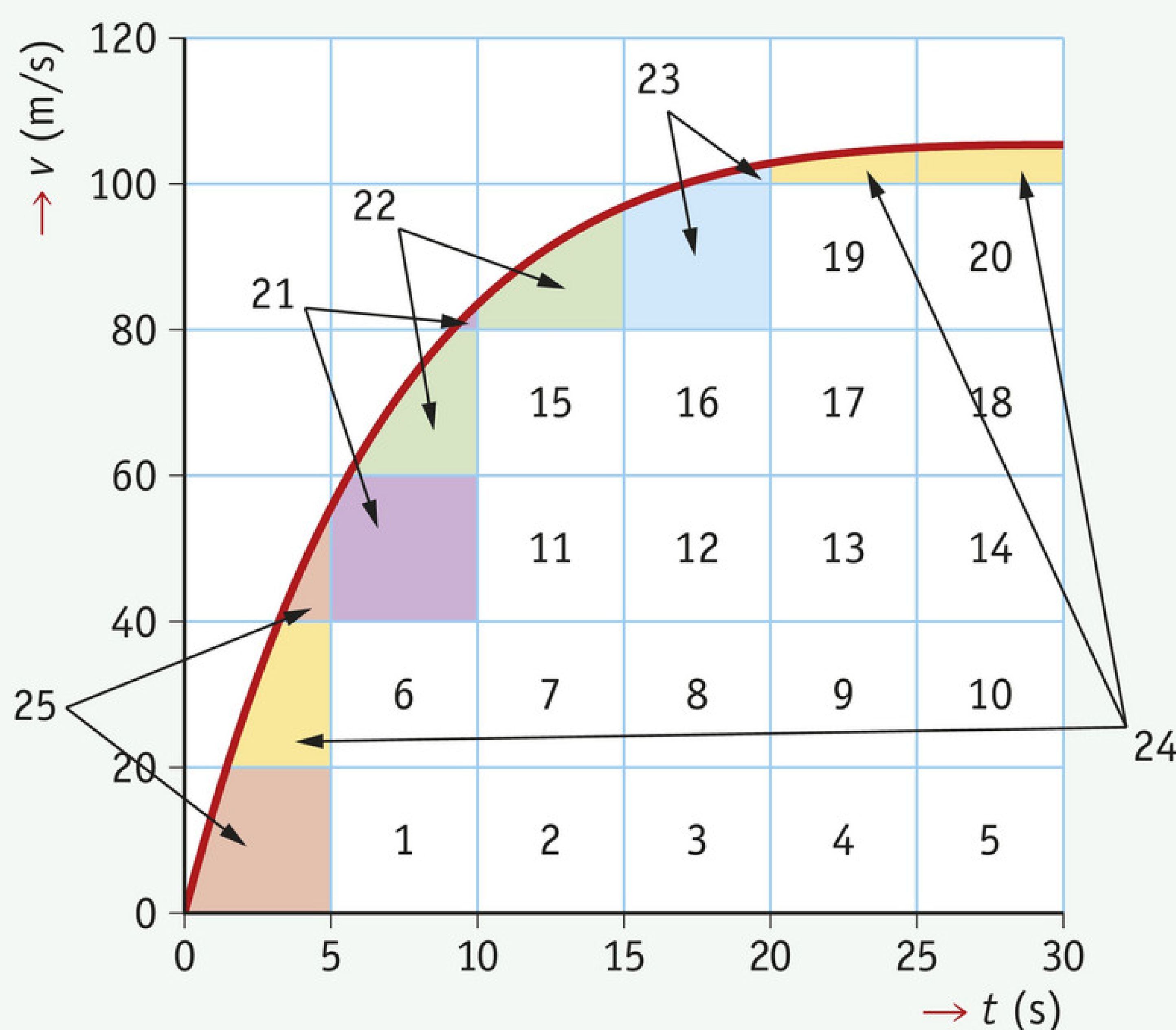
In figuur 9 zie je een realistischer (v,t)-diagram van een raceauto. Als de snelheid stijgt, loopt de grafiek steeds minder steil. De snelheid neemt dus steeds minder toe en de versnelling van de auto wordt dus kleiner. De oppervlakte onder de grafiek bestaat dan niet meer uit vormen waarvan je de oppervlakte eenvoudig kunt bepalen, zoals rechthoeken en driehoeken. Het is dan lastig om de afgelegde afstand nauwkeurig met het (v,t)-diagram te bepalen.



figuur 9 Het (snelheid,tijd)-diagram van een optrekkende formule 1-raceauto.

Een snelle manier om een schatting te maken van de afgelegde afstand zie je in figuur 10. Als je bijvoorbeeld de verplaatsing wilt bepalen van het tijdstip t = 0 s tot t = 30 s, bepaal je eerst met welke verplaatsing de oppervlakte van één hokje overeenkomt. Vervolgens tel je het aantal hokjes onder de grafiek. Zoals je ziet in figuur 10 probeer je het aantal hokjes dat niet precies onder de grafiek ligt zo nauwkeurig mogelijk te schatten. In dit geval geldt:

- Het aantal hokjes onder de grafiek is gelijk aan (ongeveer) 25.
- De oppervlakte van één hokje is gelijk aan 20 m/s × 5,0 s = 100 m.
- De verplaatsing is dus gelijk aan 25 × 100 m = 2500 m.



figuur 10 Zo tel je hokjes onder een kromme grafiek.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe noem je een beweging waarvan:
- de snelheid gelijkmatig groter wordt?
- de snelheid de hele tijd even groot blijft?

b Met welke formule kun je de versnelling van een bewegend voorwerp berekenen?

c Wat wordt bedoeld met de uitspraak: de versnelling van het voorwerp is 3 m/s^2?

d Hoe kun je de afgelegde afstand bepalen uit het (*v*,*t*)-diagram van een beweging?

2 Wat is juist?

Als een auto in 2 s versnelt van 3 m/s naar 7 m/s, dan:

○ A is de snelheid 2 m/s.
○ B is de snelheid 4 m/s.
○ C is de versnelling 2 m/s^2.
○ D is de versnelling 4 m/s^2.

3 Vul tabel 1 verder in.

tabel 1 Enkele grootheden en eenheden.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
afstand			m
		seconde	
			m/s
	a		

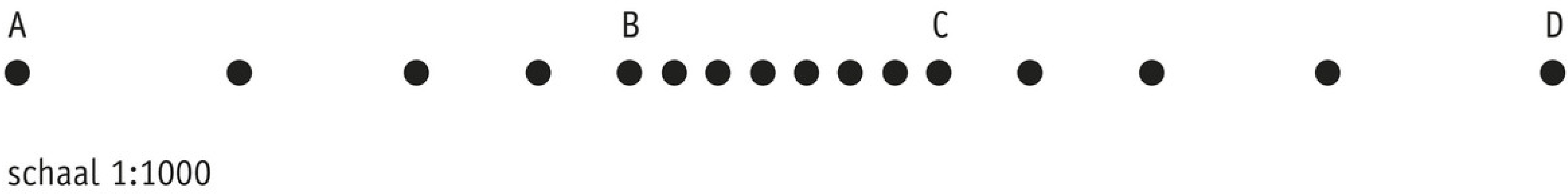
TOEPASSING

4

a Een auto heeft een lekkage en verliest elke seconde een druppel olie. In figuur 11 zie je het oliespoor dat de auto op de weg heeft achtergelaten. De auto bewoog van links naar rechts.
Leg uit hoe de auto bewoog tussen A en B.

b Leg uit hoe de auto bewoog tussen B en C.

c Leg uit hoe de auto bewoog tussen C en D.

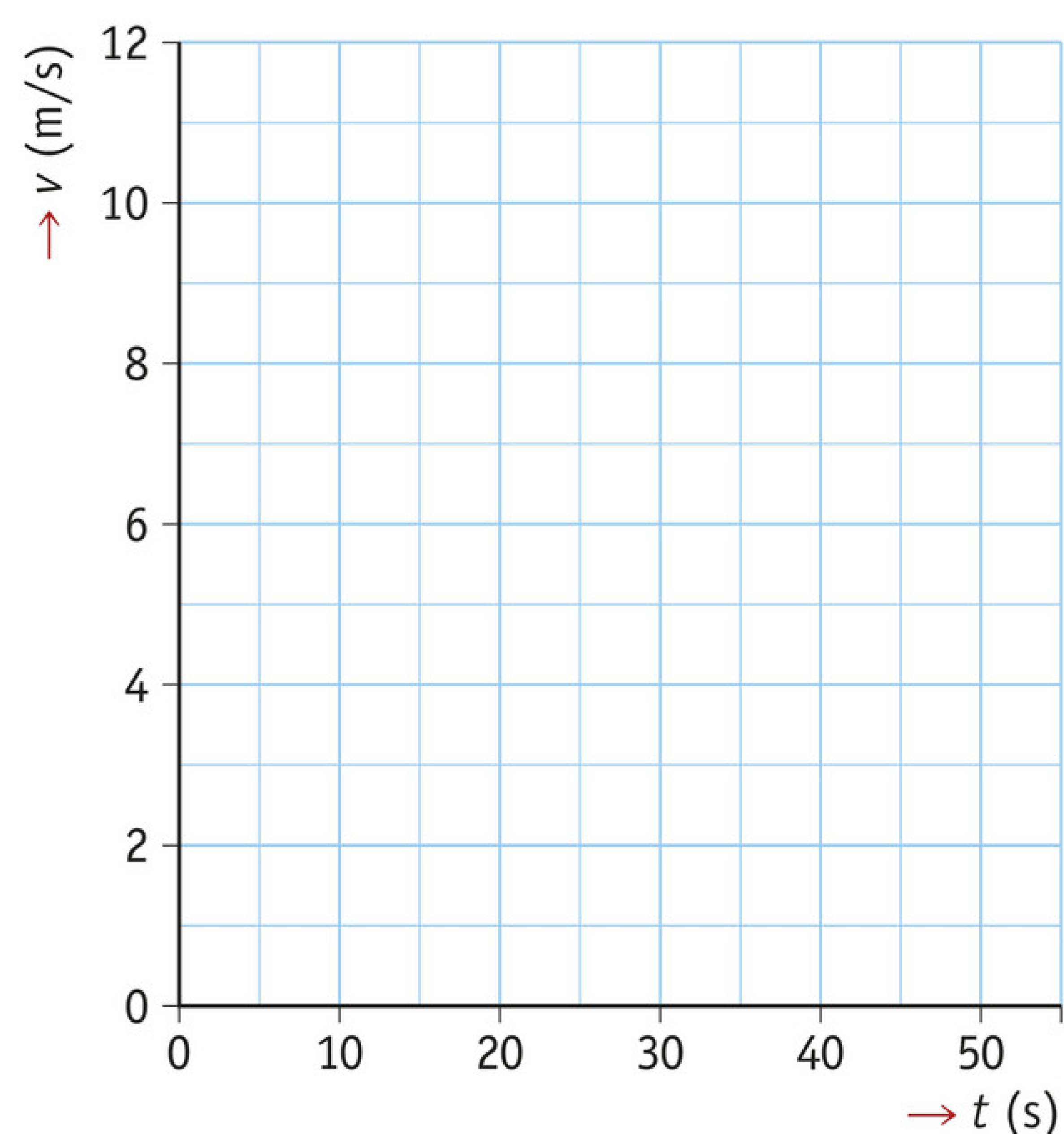


schaal 1:1000

figuur 11 Een oliespoor.

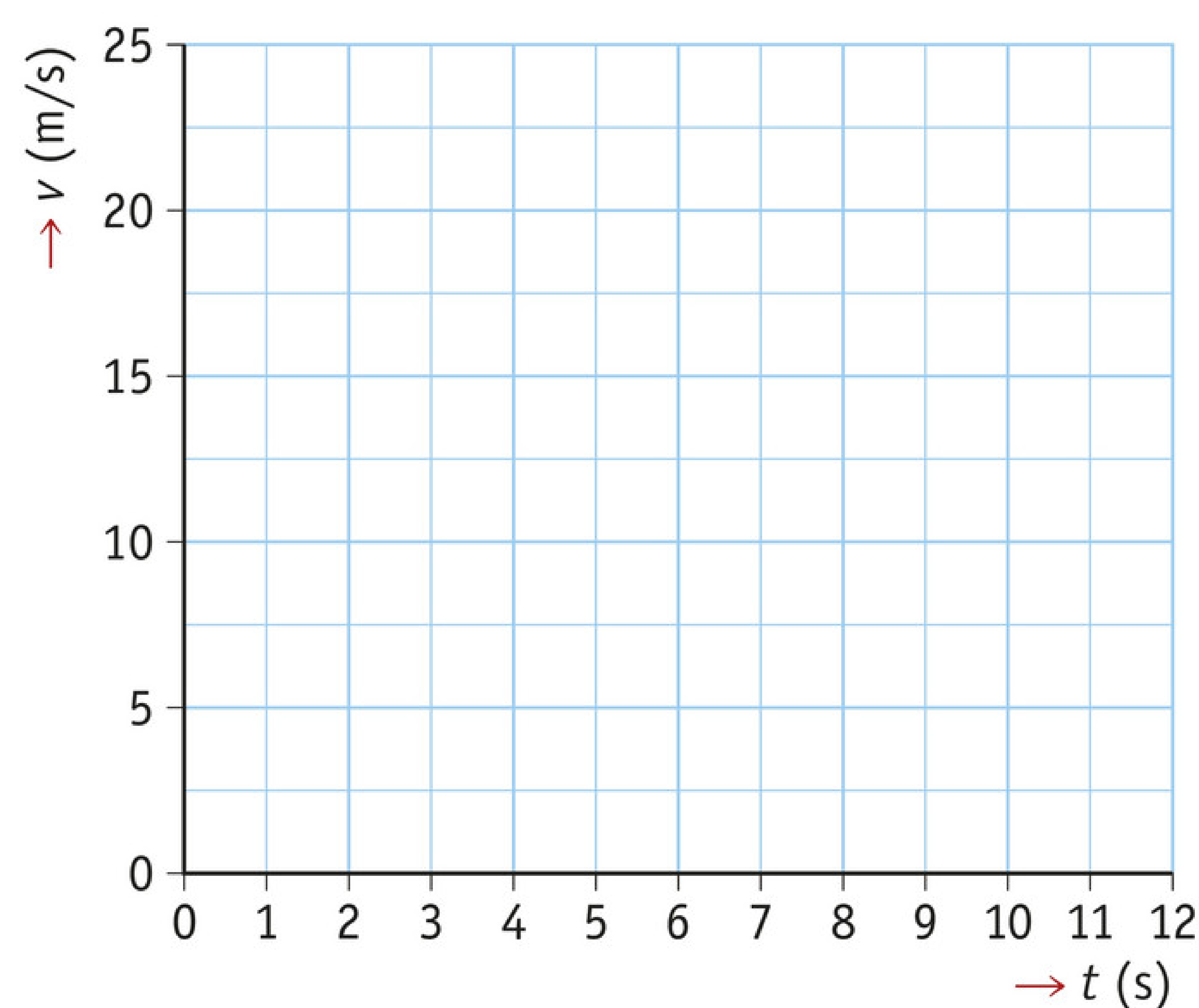
5 Schets het (v,t)-diagram van:

a een schaatser die in 40 s een rondje rijdt op de ijsbaan met een constante snelheid van 36 km/h (figuur 12).



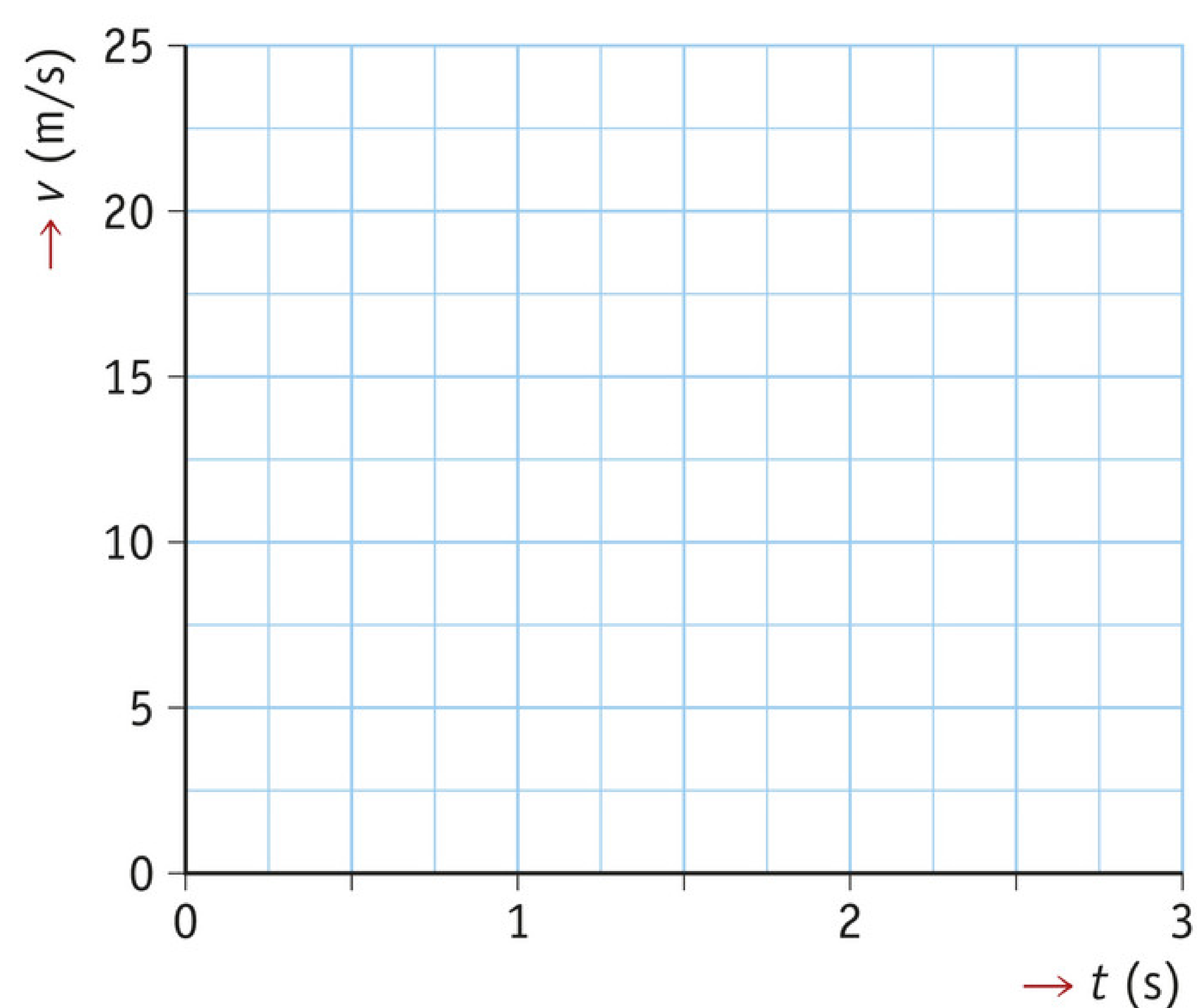
figuur 12 Het (v,t)-diagram van een schaatser.

b een skispringer die eenparig versneld een skischans afdaalt. Als hij na 12 s van de schans springt, is zijn snelheid 90 km/h (figuur 13).



figuur 13 Het (v,t)-diagram van een skispringer.

c een automobilist die bij een inhaalmanoeuvre in 3,0 s versnelt van 63 naar 81 km/h (figuur 14).

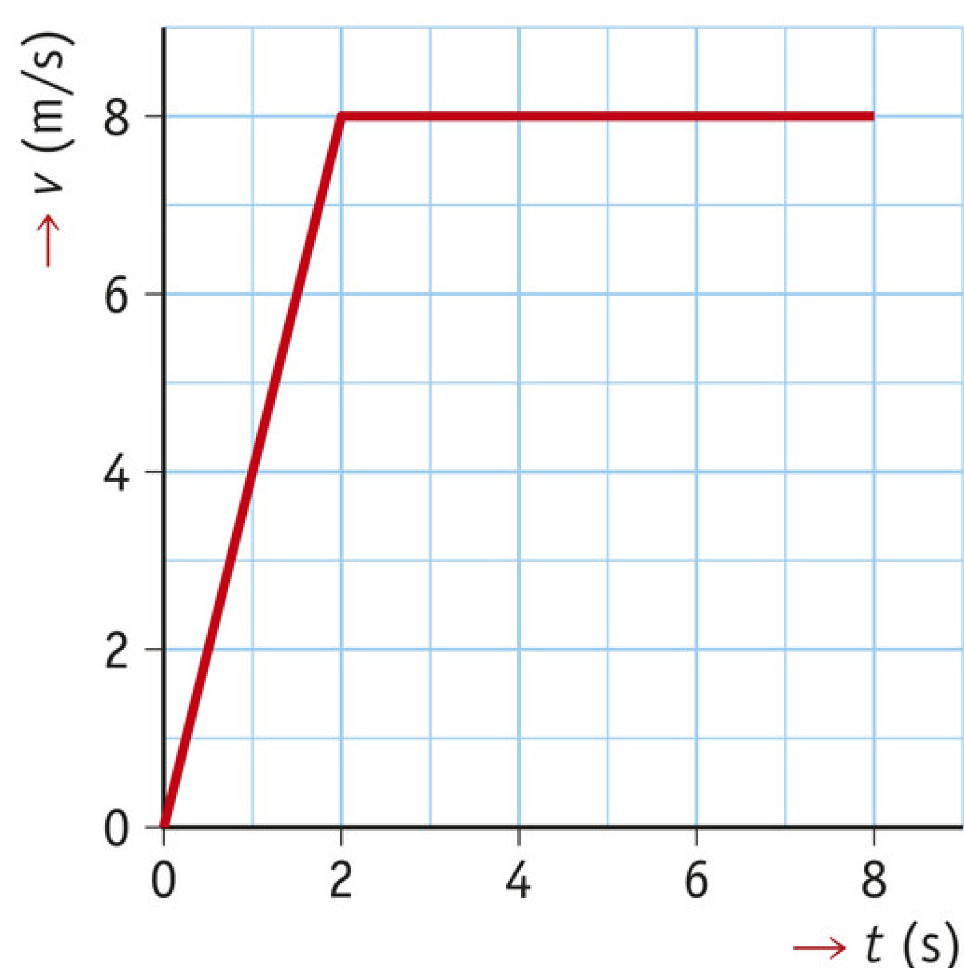


figuur 14 Het (v,t)-diagram van een automobilist.

6 In figuur 15 zie je het (*v*,*t*)-diagram van Wietske op haar scooter.

a Bepaal de versnelling van Wietske gedurende de eerste 2 s.

b Bepaal de afstand die Wietske aflegt in de eerste 8,0 s van haar rit.

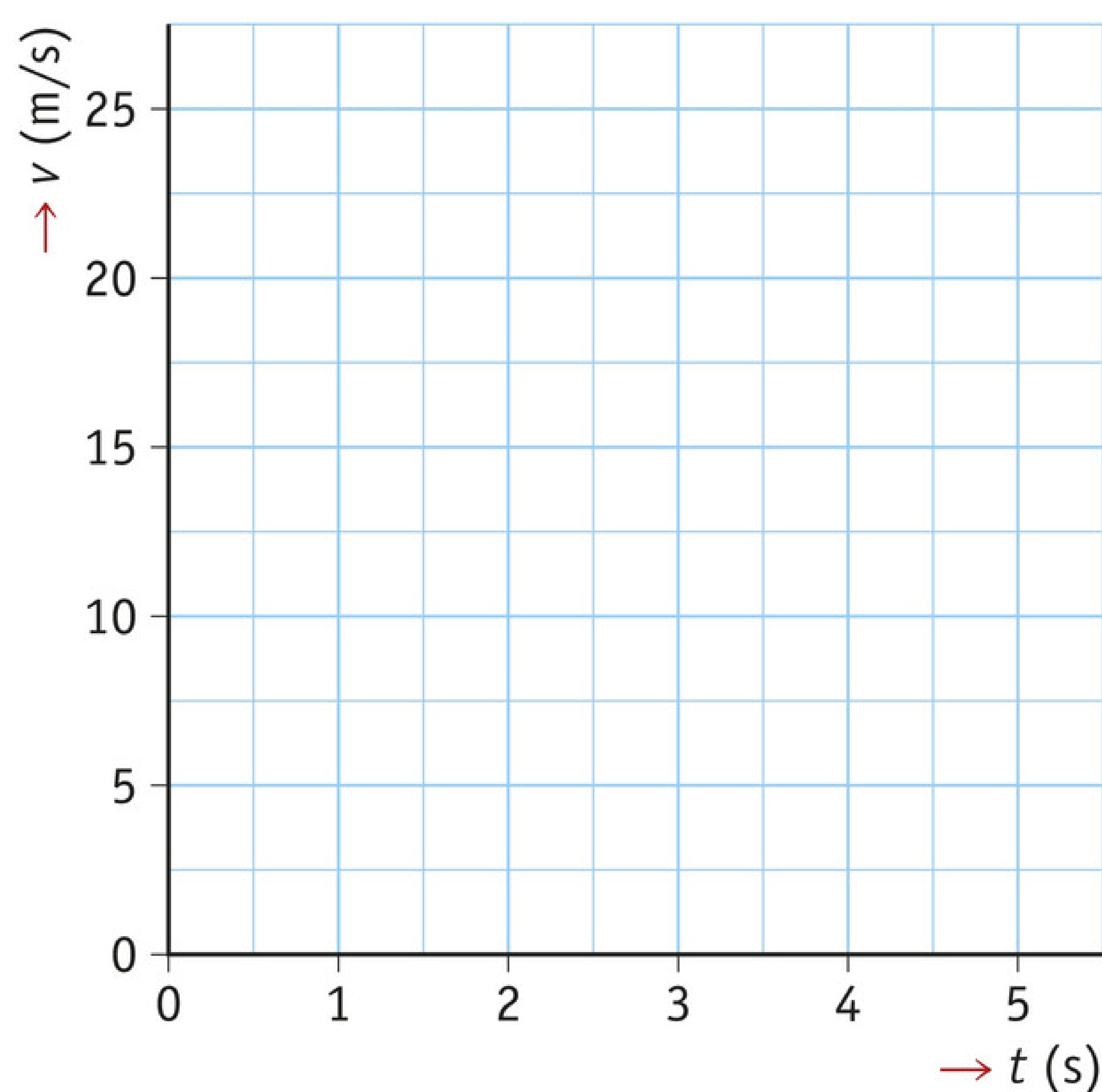


figuur 15 Het (*v*,*t*)-diagram van Wietske.

7 Een auto rijdt met een snelheid van 63 km/h. De automobilist geeft meer gas, waardoor zijn snelheid in 5,0 s toeneemt tot 90 km/h.

a Bereken de versnelling van de auto in m/s^2.

b Bepaal de afstand die de auto tijdens de beweging aflegt. Schets daarvoor eerst het (*v*,*t*)-diagram in figuur 16.



figuur 16 Het (*v*,*t*)-diagram van de auto.

8 Een vliegtuig versnelt in 50 s van 0 naar 310 km/h en stijgt vervolgens op. Een auto versnelt in 15 s van 0 naar 100 km/h.
Laat met een berekening zien in welke situatie de (gemiddelde) versnelling het grootst is.

9 Lees het krantenartikel in figuur 17.

a Bereken de topsnelheid van het jachtluipaard in km/h.

b In de tekst staat dat de snelheid van het jachtluipaard per stap toeneemt met 3 m/s. Leg uit hoeveel stappen het jachtluipaard minimaal nodig heeft om een topsnelheid van 27 m/s te bereiken.

c Metingen hebben aangetoond dat één stap van een jachtluipaard 0,45 s duurt. Bereken de versnelling van het jachtluipaard.

Versnelling, niet snelheid, maakt jachtluipaard topjager



Het jachtluipaard behaalt zelden de topsnelheid (27 m/s) waar hij om bekendstaat. Maar het dier heeft een enorme versnelling en is extreem wendbaar. Britse wetenschappers maten de snelheid van wilde cheeta's en vonden een gemiddelde topsnelheid van 'amper' 14,9 m/s. Ter vergelijking: een topsprinter haalt 12 m/s.
De dieren hebben echter een ander groot voordeel tijdens de jacht: hun spieren kunnen zeer snel samentrekken. In één stap kunnen de dieren 3 m/s versnellen of 4 m/s vertragen. Vertragen doen ze altijd vlak voor ze van richting veranderen: zo kunnen ze een veel scherpere bocht nemen.

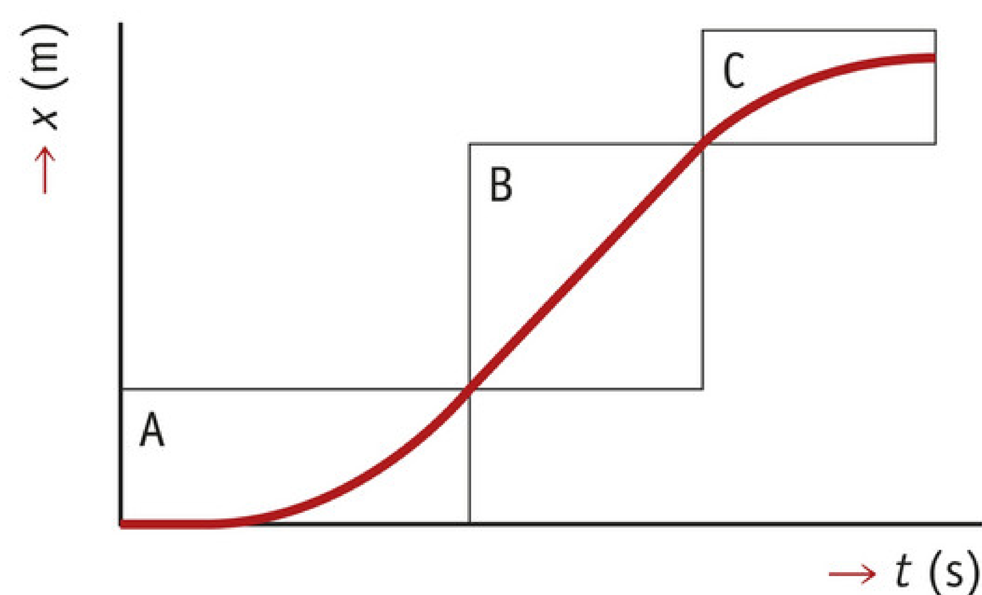
figuur 17 Een artikel over jachtluipaarden.

★ 10 In figuur 18 zie je het (*x*,*t*)-diagram van een sprinter in een hardloopwedstrijd.

a Hoe beweegt de sprinter (eenparig, versneld of vertraagd):
- in deel A van de beweging?
- in deel B van de beweging?
- in deel C van de beweging?

b Leg uit of de gemiddelde snelheid in deel B groter of kleiner is dan de gemiddelde snelheid in deel C, of precies even groot.

c De eerste 2,0 s rende de sprinter met een constante versnelling van 4,0 m/s^2. Bereken welke snelheid de sprinter na die 2,0 s had bereikt.

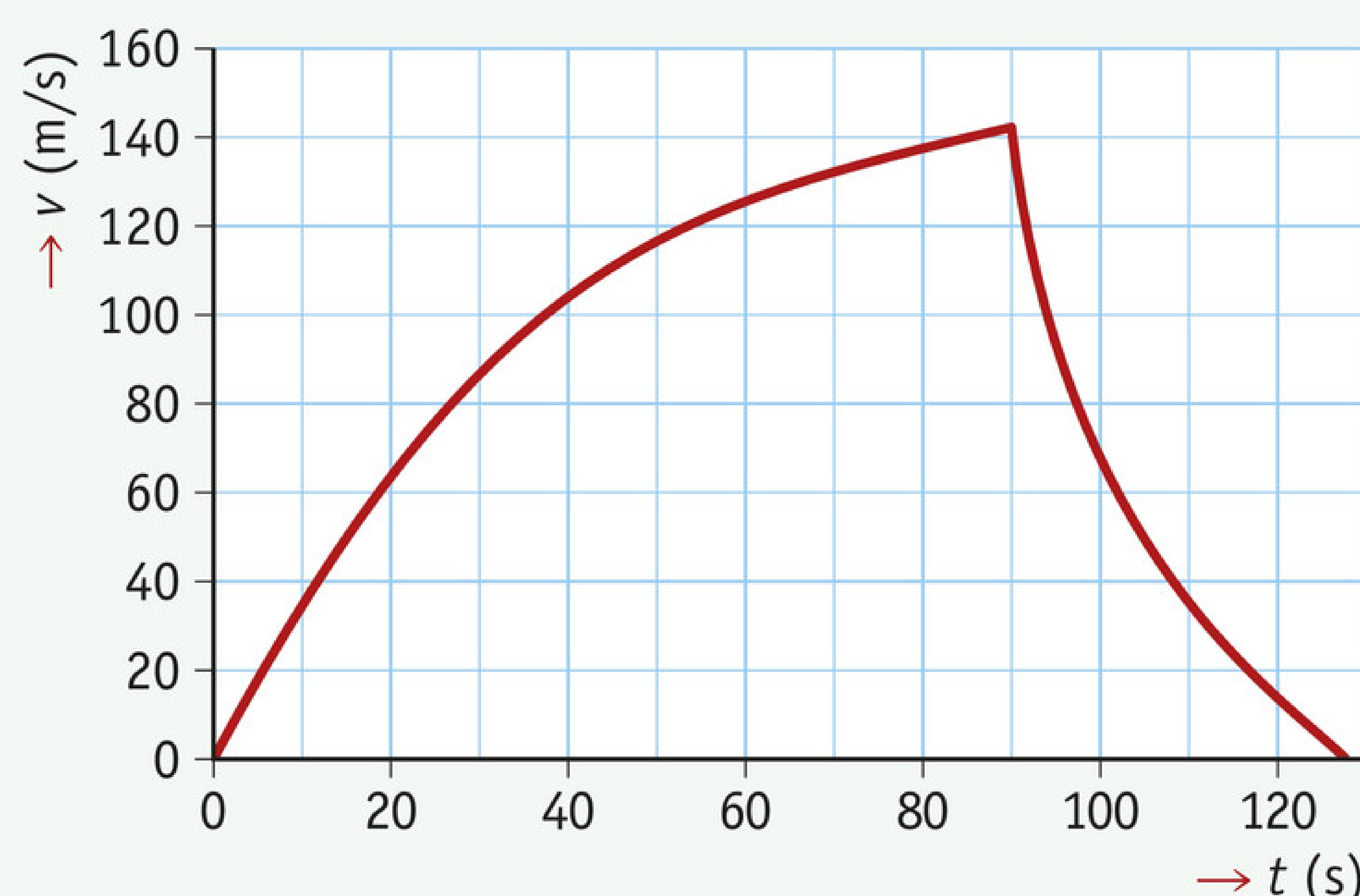


figuur 18 Het (*x*,*t*)-diagram van de sprinter.


Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE NIET-EENPARIGE VERSNELLING

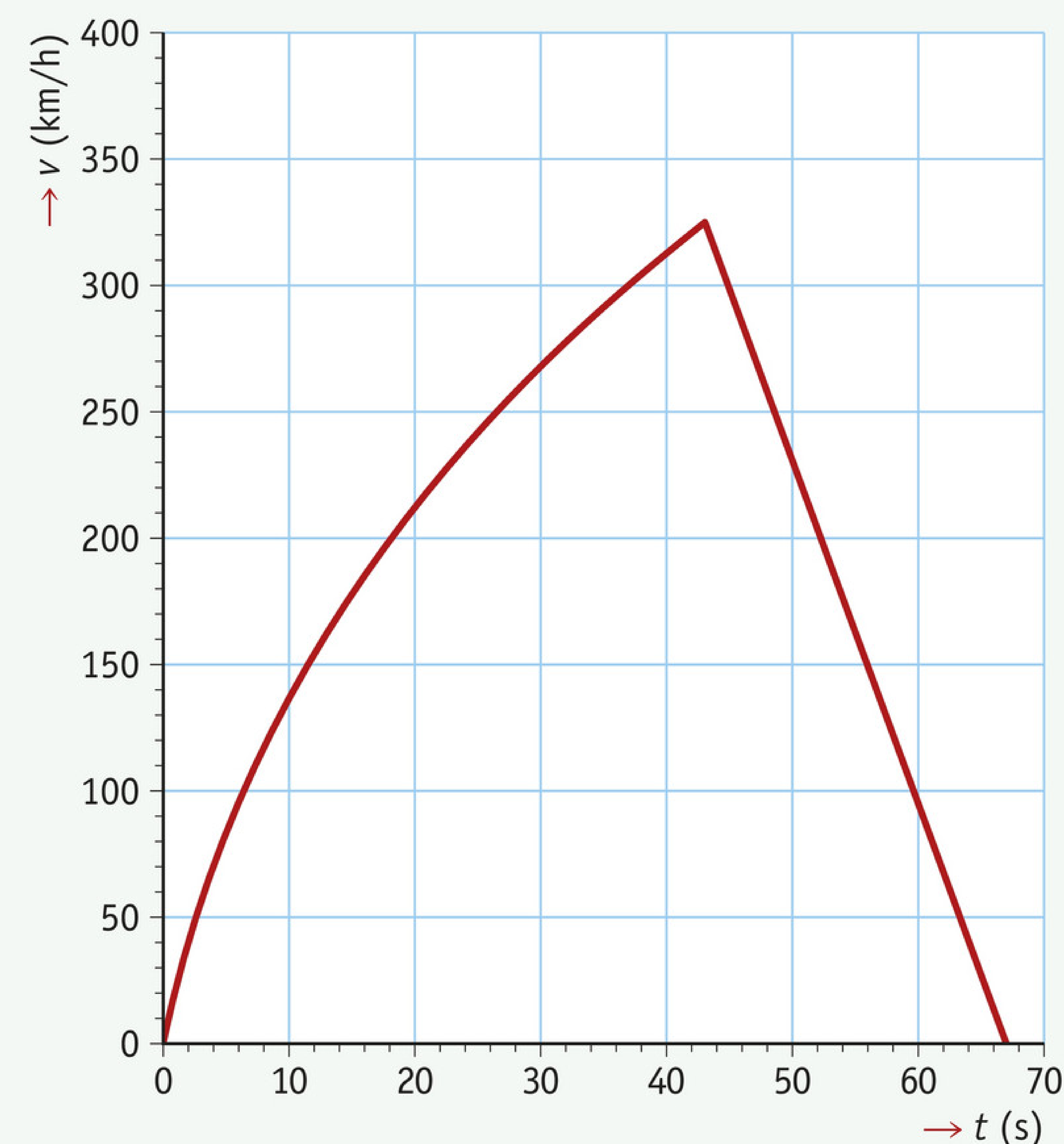
11 In 2009 vestigde een team van Amerikaanse studenten het snelheidsrecord voor elektrische auto's. Hun *Buckeye Bullet* haalde ongeveer 500 km/h op een zoutvlakte in de staat Utah. De auto was heel laag en extreem goed gestroomlijnd. In figuur 19 staat het (*v*,*t*)-diagram van de recordrit.



figuur 19 Het (*v*,*t*)-diagram van de recordrit van de *Buckeye Bullet*.

a Toon aan dat de topsnelheid in figuur 19 inderdaad ongeveer 500 km/h is.
b Je kunt de beweging verdelen in drie perioden.
Welke beweging voerde de auto in elk van die drie perioden uit?
c Hoe kun je verklaren dat de versnelling in het eerste deel bijna constant is?
d Bepaal hoeveel km de auto aflegde totdat hij zijn topsnelheid behaalde.
e Bereken met je antwoord op opdracht d de gemiddelde snelheid tussen het tijdstip t = 0 s en het tijdstip waarop de auto zijn topsnelheid behaalde.

12 In figuur 20 zie je het (*v*,*t*)-diagram van een vliegtuig dat een noodstop op de landingsbaan moet uitvoeren.



figuur 20 Het (*v*,*t*)-diagram van het vliegtuig.

a Toon aan dat de oppervlakte van één hokje overeenkomt met een verplaatsing van $1{,}4 \cdot 10^2$ m.
b Bepaal de gemiddelde snelheid van het vliegtuig tijdens deze noodstop.

3 Kracht, massa en versnelling

LEERDOELEN

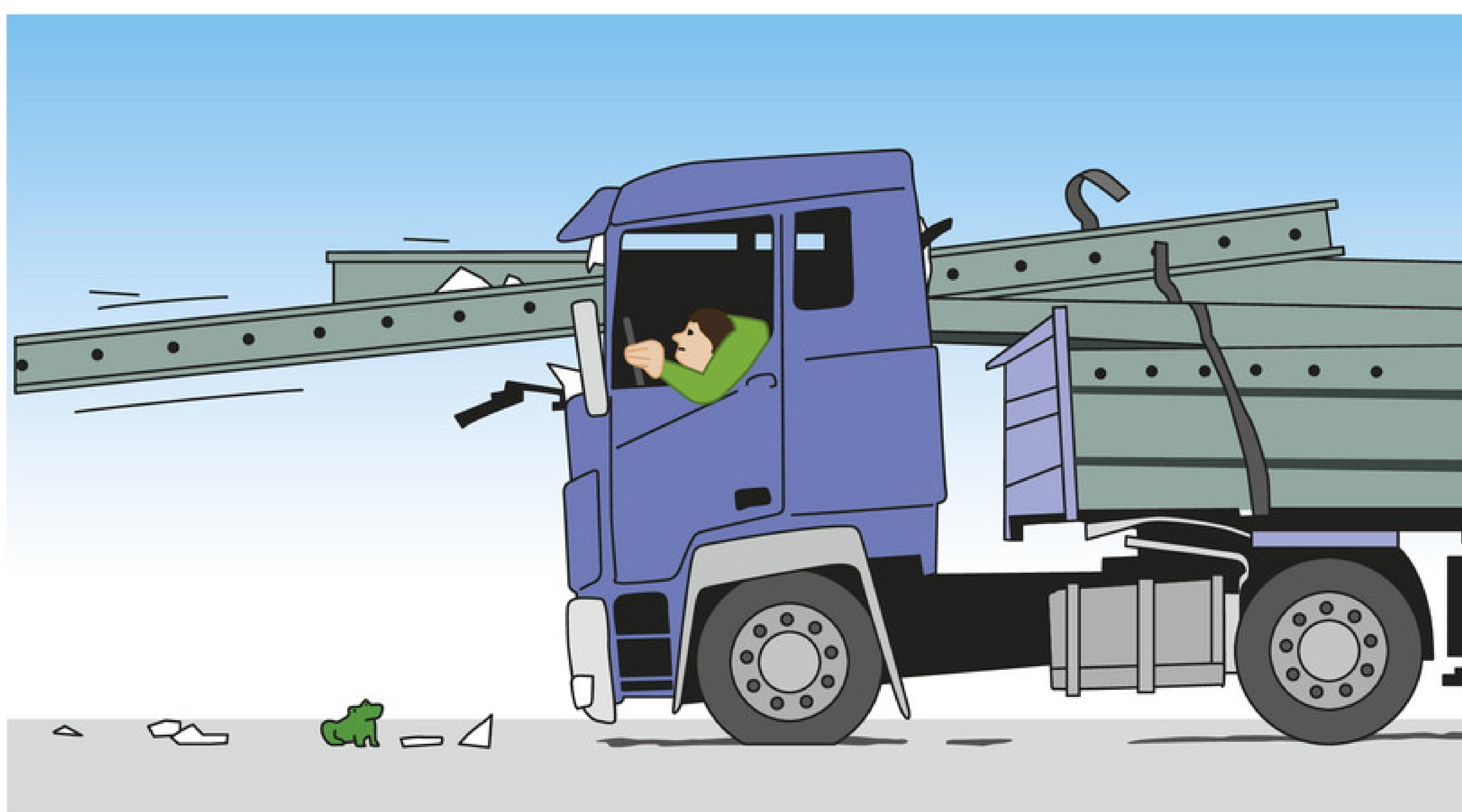
4.3.1 Je kunt het begrip traagheid uitleggen.
4.3.2 Je kunt berekeningen maken met de tweede wet van Newton: $F = m \cdot a$
4.3.3 Je kunt de remkracht op een voertuig berekenen door gebruik te maken van de vertraging.
PLUS 4.3.4 Je kunt berekeningen maken met de valversnelling en uitleggen hoe deze afhangt van de straal en massa van een hemellichaam.

Als een vrachtwagen zwaarbeladen is, komt hij maar langzaam op gang. Hoe groter de massa van de lading, des te kleiner is de versnelling als de chauffeur in alle gevallen evenveel gas geeft. Hetzelfde merk je als je probeert weg te rijden terwijl er iemand achterop je fiets zit: het optrekken tot de gewenste snelheid duurt dan veel langer.

TRAAGHEID

De massa heeft niet alleen invloed op de versnelling waarmee je een voorwerp kunt laten optrekken. De massa bepaalt ook hoe moeilijk het is om het voorwerp af te remmen of een andere richting op te laten gaan. Hoe groter de massa van een voorwerp, des te moeilijker is het om de snelheid of de bewegingsrichting te veranderen. Een chauffeur rijdt daarom extra voorzichtig als zijn vrachtauto zwaarbeladen is.

Een voorwerp met een grote massa heeft een grote **traagheid**. Er is een grote resulterende kracht nodig om de snelheid of de bewegingsrichting merkbaar te beïnvloeden. Een chauffeur die stalen balken vervoert, weet dat zijn lading een grote traagheid heeft. Hij let er daarom goed op dat de balken stevig worden vastgezet. Anders zullen de balken bij een noodstop doorgaan met bewegen, terwijl de vrachtauto tot stilstand komt (figuur 1).

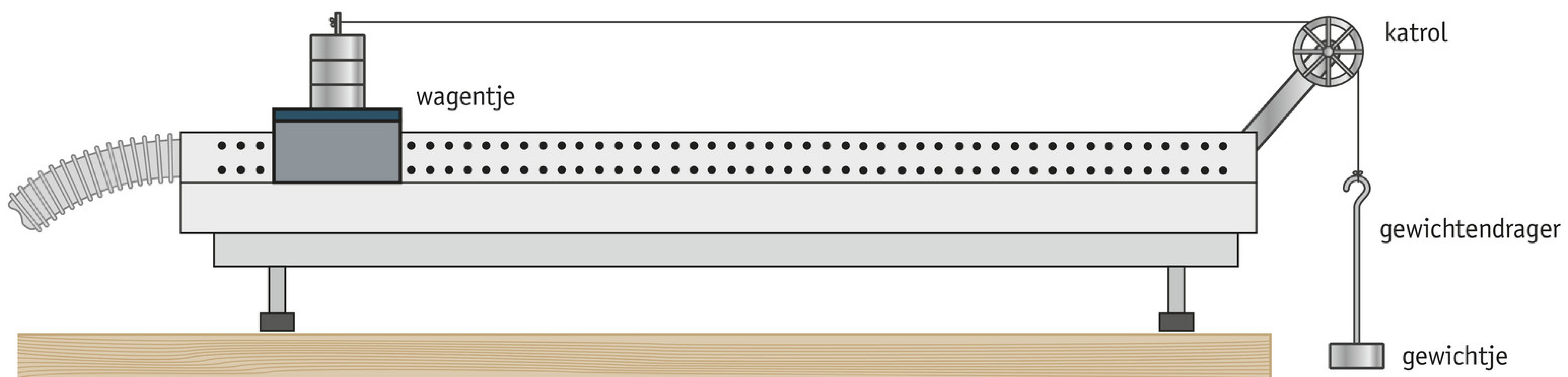


figuur 1 Stalen balken hebben een grote massa en daardoor ook een grote traagheid.

DE TWEEDE WET VAN NEWTON

PROEF 3

Met de opstelling in figuur 2 kun je een wagentje versneld laten bewegen over een luchtkussenbaan. De baan heeft een groot aantal gaatjes waar lucht uit stroomt. Doordat het wagentje ‘zweeft’ op een laagje lucht, zijn de weerstandskrachten te verwaarlozen. De resultante F is daarom gelijk aan de zwaartekracht op de gewichtendrager en het gewichtje. De massa m van het wagentje en de gewichtjes kun je bepalen met een weegschaal en de versnelling a door de snelheidsverandering te meten met een bewegingssensor.



figuur 2 Een experiment met een luchtkussenbaan.

Uit dit soort proeven blijkt dat er een eenvoudig verband bestaat tussen de resultante, de massa en de versnelling. In formulevorm:

$$F_{res} = m \cdot a$$

Hierin is:
- F_{res} de resultante in newton (N);
- m de massa in kilogram (kg);
- a de versnelling in meter per seconde kwadraat (m/s²).

Deze formule staat ook wel bekend als de **tweede wet van Newton**.

De definitie van de newton, de eenheid van kracht, is gebaseerd op de formule $F = m \cdot a$. Volgens die definitie is 1 N gelijk aan de (resulterende) kracht die een massa van 1 kg een versnelling geeft van 1 m/s².

VOORBEELDOPDRACHT 1

Een auto trekt in 4,0 s met constante versnelling op van 0 km/h naar 54 km/h. De auto heeft een massa van 800 kg.
Bereken hoe groot de resultante is die de auto laat versnellen.

gegevens $v_b = 0$ m/s
$v_e = 54$ km/h $= 15$ m/s
$\Delta t = 4{,}0$ s
$m = 800$ kg

gevraagd $F_{res} = ?$

uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 15$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{15}{4{,}0} = 3{,}75 \text{ m/s}^2$$

$$F_{res} = m \cdot a = 800 \times 3{,}75 = 3000 \text{ N} = 3{,}0 \text{ kN}$$

De resultante is dus 3,0 kN. De voortstuwende kracht op de auto is groter. Er zijn immers ook weerstandskrachten die overwonnen moeten worden.

DE VERSNELLING BEREKENEN

Een motor kan meestal veel sneller optrekken dan een personenauto. Dat komt doordat de motor een veel kleinere massa heeft. Als de resulterende kracht op de beide voertuigen even groot is, krijgt de motor daarom de grootste versnelling. Je kunt dat ook afleiden uit de formule: $F = m \cdot a$. Als de resultante F even groot is, maar de massa m veel kleiner, moet de versnelling a wel veel groter zijn.

VOORBEELDOPDRACHT 2

In figuur 3 zie je een auto en een motor naast elkaar staan. De massa van de auto (inclusief de bestuurder) is 900 kg, die van de motor is 300 kg. Als de voorrangsweg vrij is, trekken de auto en de motor beide op. Op beide voertuigen werkt daarbij een resultante van 1,8 kN.
Bereken de versnelling van beide voertuigen.

gegevens	*auto:*	*motor:*
	F = 1,8 kN	F = 1,8 kN
	m = 900 kg	m = 300 kg
gevraagd	a = ?	a = ?
uitwerking	$a = \frac{F}{m} = \frac{1800}{900} = 2{,}0\ \text{m/s}^2$	$a = \frac{F}{m} = \frac{1800}{300} = 6{,}0\ \text{m/s}^2$



figuur 3 Een motor kan veel sneller optrekken dan een auto.

DE REMKRACHT BEREKENEN

Met de formule $F = m \cdot a$ kun je de resultante op een remmend voertuig berekenen. De letter a staat in dit geval voor de remvertraging (de snelheidsafname per seconde). De letter F staat voor de resultante. In dit geval is de resultante de totale remkracht die op het voertuig wordt uitgeoefend.

VOORBEELDOPDRACHT 3

Een auto heeft een massa van 1300 kg. De remmen moeten voldoende remkracht kunnen leveren voor een remvertraging van minstens 5,2 m/s² (figuur 4).
Bereken hoe groot de remkracht minstens moet zijn.

gegevens $m = 1300$ kg
$a = -5{,}2$ m/s²

gevraagd $F = ?$

uitwerking $F = m \cdot a = 1300 \times -5{,}2 = -6760$ N $= -6{,}8$ kN

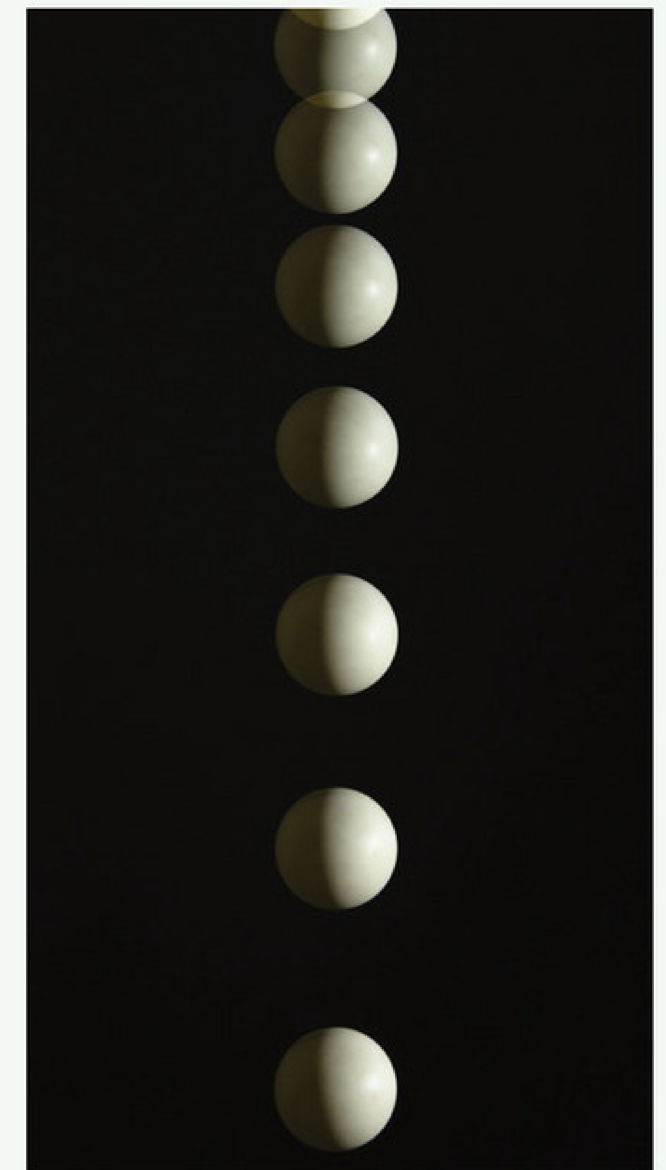
Je zegt dat de remkracht (na afronding) gelijk is aan 6,8 kN, maar je schrijft $F = -6{,}8$ kN.
Het minteken geeft aan dat de remkracht tegen de bewegingsrichting in werkt.



figuur 4 In deze situatie was de remkracht te klein.

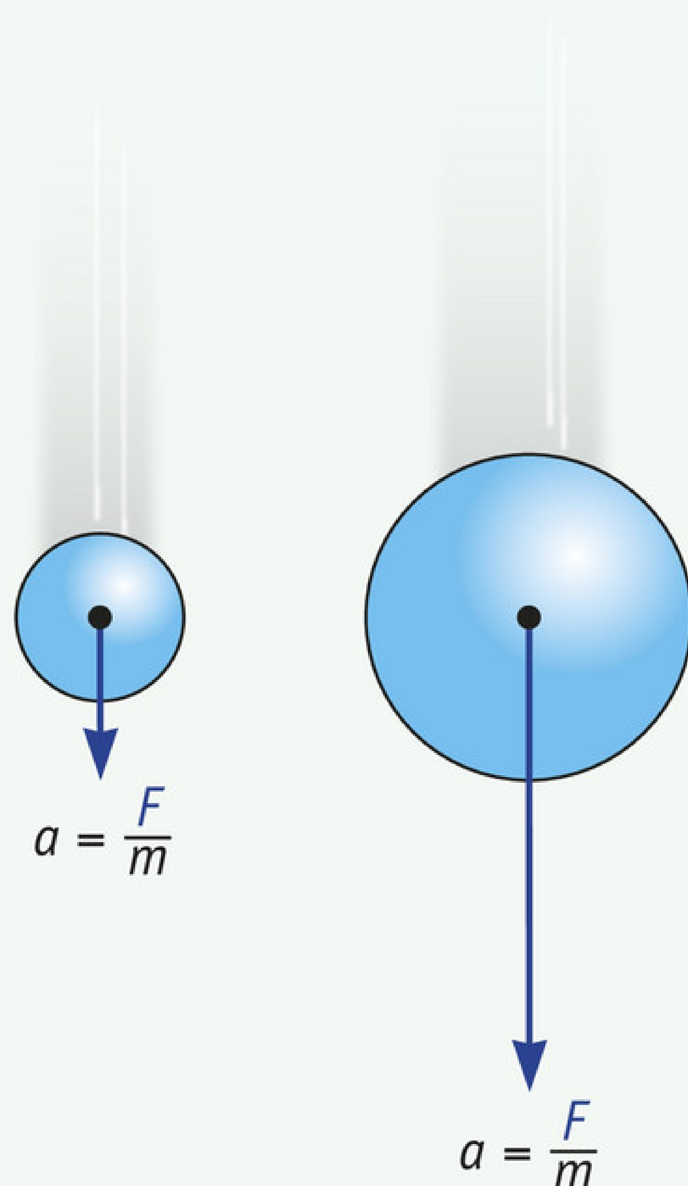
PLUS DE VALVERSNELLING

In figuur 5 zie je een stroboscopische foto van een vallende pingpongbal. De bal beweegt door de zwaartekracht versneld naar beneden. Als je de luchtweerstand kunt verwaarlozen, dan is zijn beweging eenparig versneld. Alleen dan spreek je in de natuurkunde van een **vrije val**.



figuur 5 Een pingpongbal valt versneld naar beneden.

Voor alle voorwerpen in vrije val geldt: $a = \frac{F}{m}$. De **valversnelling** is voor alle voorwerpen even groot. Als de massa van een voorwerp 2× zo groot is, is de zwaartekracht dat dus ook (figuur 6). Vlak boven het aardoppervlak is de valversnelling 9,8 m/s^2.



figuur 6 Alle voorwerpen in vrije val hebben dezelfde versnelling.

Op de maan is de valversnelling een stuk kleiner: 1,6 m/s^2. Natuurkundigen hebben ontdekt dat de grootte van de valversnelling aan het oppervlak van een maan of planeet afhangt van twee eigenschappen van het hemellichaam:

- De massa van het hemellichaam: hoe groter de massa, hoe groter de valversnelling.
- De straal van het hemellichaam: hoe groter de straal, hoe kleiner de valversnelling.

Als de massa en de straal van de planeet bekend zijn, kun je met een formule precies berekenen hoe groot de valversnelling aan het planeetoppervlak is, zonder daarvoor een valproef uit te voeren.

Voor de valversnelling aan een planeetoppervlak geldt de volgende formule:

$$g = G \cdot \frac{M}{R^2}$$

Hierin is:
- g de valversnelling in meter per seconde kwadraat (m/s^2);
- G de zogeheten gravitatieconstante in newton meter kwadraat per kilogram kwadraat ($N\ m^2/kg^2$); de waarde van G is $6{,}673\ 84 \cdot 10^{-11}\ N\ m^2/kg^2$;
- M de massa van de planeet in kilogram (kg);
- R de straal van de planeet in meter (m).


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welk verband bestaat er tussen de resultante, de massa en de versnelling?
- **b** Hoe luidt de definitie van de newton (N), de eenheid van kracht?
- **c** Waardoor kan een motor meestal veel sneller optrekken dan een personenauto?

2 Een volgeladen vrachtwagen heeft een veel grotere traagheid dan een lege vrachtwagen. Hoe merkt een vrachtwagenchauffeur van een volgeladen vrachtwagen dat:
- **a** bij het optrekken?
- **b** bij het nemen van bochten?
- **c** bij het afremmen?

TOEPASSING

3 Formule 1-auto's kunnen bochten nemen met een extreem hoge snelheid. De coureurs trainen hiervoor speciaal hun nekspieren.
- **a** Leg uit waarom dat nodig is. Gebruik het woord 'traagheid' in je antwoord.
- **b** Een formule 1-auto trekt veel sneller op dan een doorsnee personenauto. Geef hiervoor twee mogelijke oorzaken.

4 Een elektrische scooter trekt in 2,5 s op van 0 naar 36 km/h. De scooter heeft inclusief berijder een massa van 160 kg. Je mag aannemen dat de beweging eenparig versneld is.
- **a** Bereken de versnelling.
- **b** Bereken hoe groot de resultante is die de scooter laat versnellen.

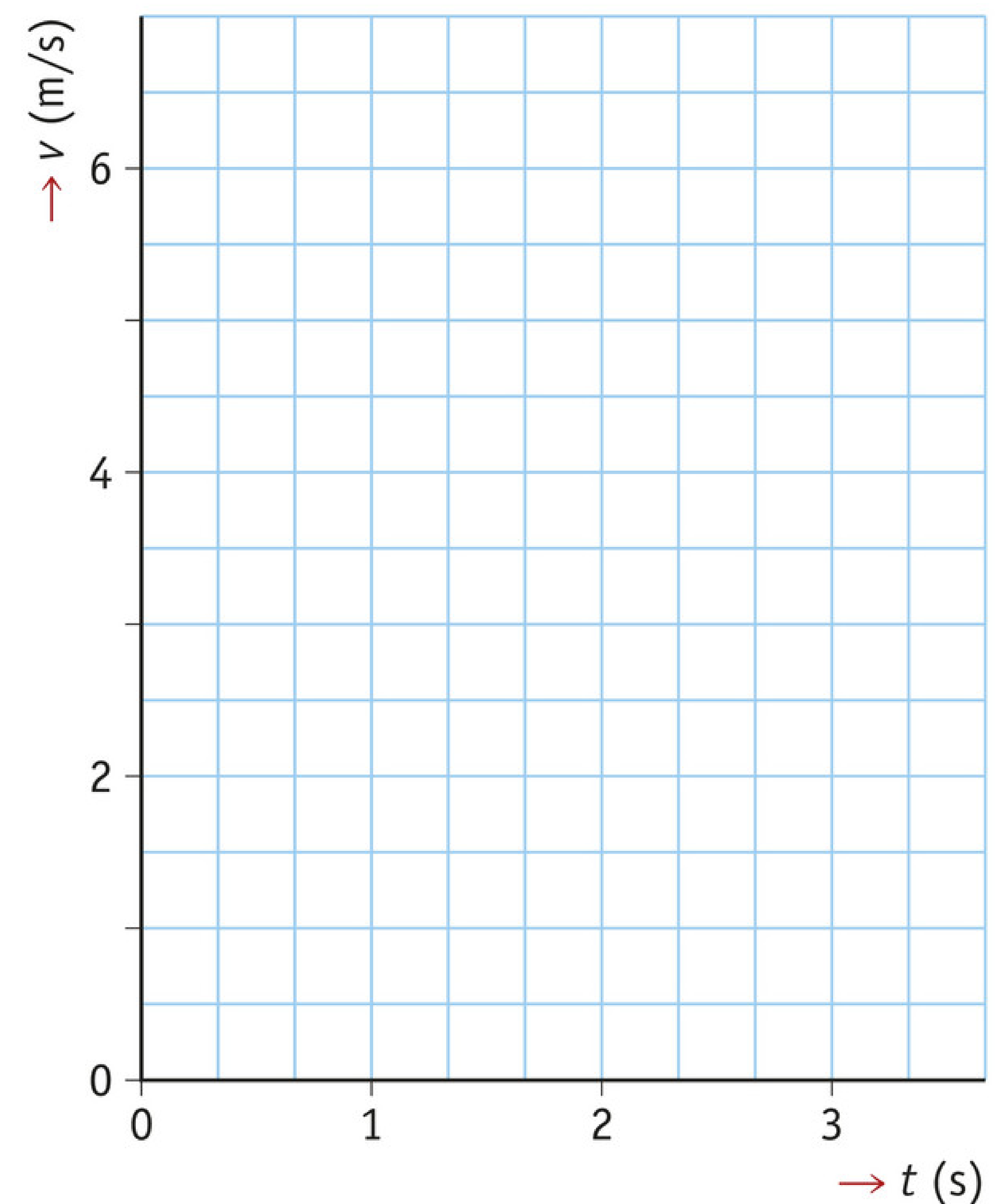
5 De Airbus A380-800 is het grootste passagiersvliegtuig ter wereld. De motoren leveren bij de start een stuwkracht van $1{,}2 \cdot 10^6$ N. De massa (inclusief brandstof en lading) is $5{,}6 \cdot 10^5$ kg.

a Bereken de versnelling gedurende de eerste seconden van de start. Verwaarloos eventuele weerstandskrachten.

b Toon aan dat de snelheid van de Airbus na 3 s gelijk is aan 6,3 m/s (23 km/h).

c Teken in figuur 7 het (*v*,*t*)-diagram van de beweging van de Airbus tijdens de eerste drie seconden.

d Bepaal de afstand die de Airbus aflegt in de eerste drie seconden.



figuur 7 Het (*v*,*t*)-diagram van de Airbus.

6 Lees de tekst in figuur 8.

De natuurkunde van 's werelds snelste man

De oud-kampioen op de 100 meter en 200 meter sprint, Usain Bolt, won acht olympische gouden medailles en is elfvoudig wereldkampioen op diverse sprintafstanden.
De sleutel tot Bolts succes was de horizontale kracht die hij kon ontwikkelen. Hij kwam uit de startblokken met een versnelling van bijna 10 m/s², waarbij hij een (horizontale) kracht uitoefende van 817 N. Bolt bleek als een van de weinigen deze kracht over de hele 100 meter te behouden. Doordat de luchtweerstand snel toenam, nam zijn versnelling na de start snel af. Zijn versnelling werd tussen de vierde en vijfde seconde 0 m/s² en hij legde de rest van de race af met een constante snelheid van 12,2 m/s.



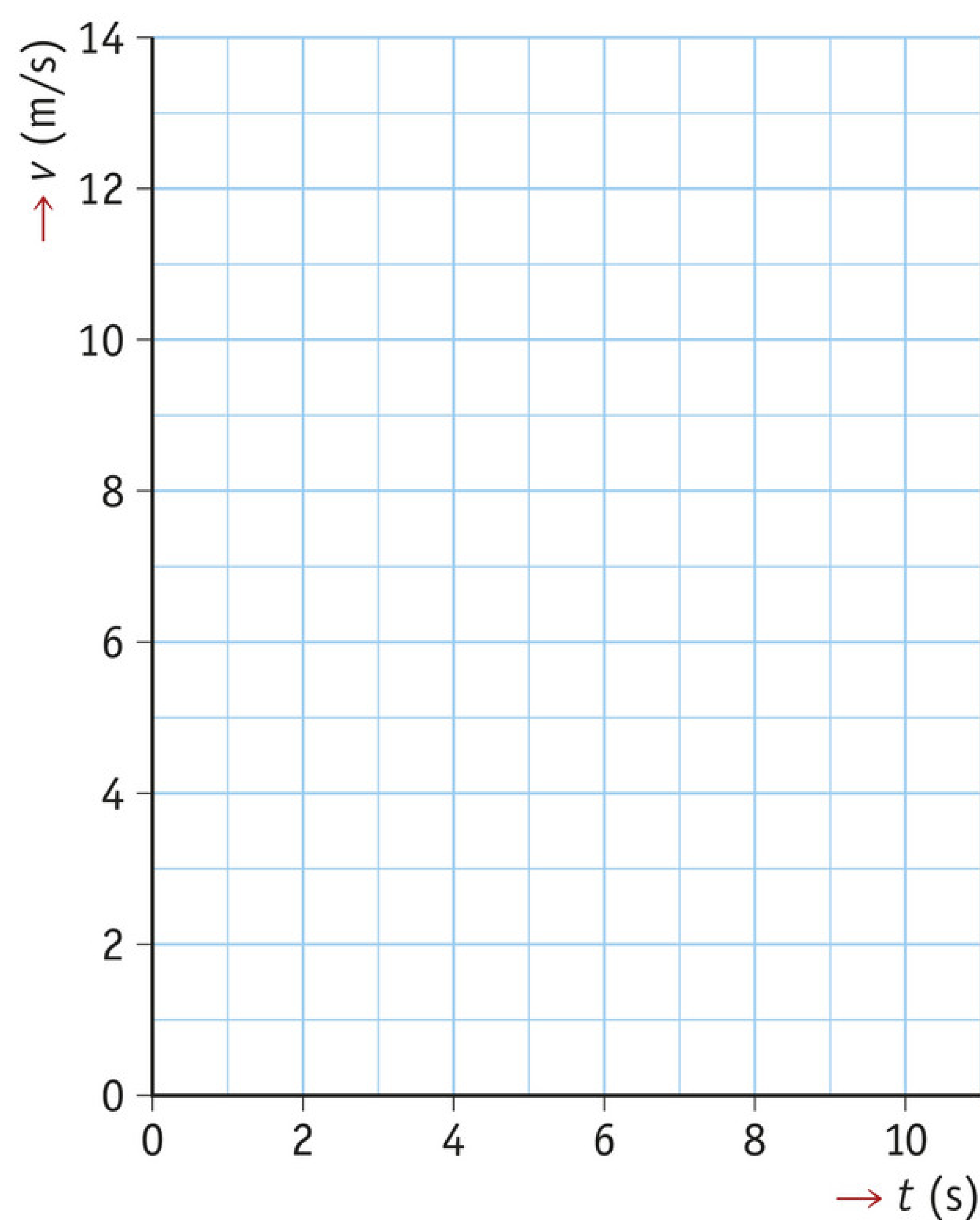
Naar: www.gizmag.com

figuur 8 Een internetartikel over de legendarische Usain Bolt.

a Maak met behulp van de gegevens in de tekst een schatting van de massa van Usain Bolt. Tip: verwaarloos de weerstandskrachten tijdens de start.

b Schets in figuur 9 het (*v*,*t*)-diagram van een 100 meterrace van Usain Bolt met behulp van de gegevens in de tekst.

c Tijdens een wedstrijd over 100 m legt Bolt in de eerste 4,0 s een afstand van 30 m af. Vanaf de vierde seconde versnelt hij niet meer, en legt hij de rest van de race af met een constante snelheid van 12,2 m/s.
Bereken de eindtijd van Bolt in deze race.



figuur 9 De race van Usain Bolt.

★ 7

In figuur 10 zie je een testrapport van de Kia ProCeed.

a De aanduiding 'gewicht' is natuurkundig niet juist.
Om welke natuurkundige grootheid gaat het hier dan wel?

b In het testrapport staat hoe snel de Kia ProCeed optrekt van 0 naar 100 km/h.
Bereken hoe groot de (gemiddelde) resultante op de Kia ProCeed daarbij is.

c De voortstuwende kracht op de auto is (veel) groter dan de kracht die je bij opdracht b hebt berekend.
Geef hiervoor een verklaring.

maten en gewichten	
tankinhoud	50 L
gewicht	1305 kg
aanhanger	600 kg
aanhanger geremd	1410 kg
prestaties	
versnellingen	7
acceleratie 0 naar 100 km/h	9,4 s
topsnelheid	205 km/h

Bron: www.autozine.nl

figuur 10 Een testrapport van de Kia ProCeed.

d In figuur 10 staat ook vermeld hoe groot de massa van een 'aanhanger' en een 'aanhanger geremd' maximaal mag zijn.
Leg uit wat wordt bedoeld met een 'aanhanger geremd'.

e Verklaar waarom de massa van een 'aanhanger geremd' veel groter mag zijn dan de massa van een 'aanhanger'.

f Twee Kia ProCeeds, A en B, trekken tegelijk zo snel mogelijk op. Achter ProCeed A hangt een aanhanger van 1300 kg, achter ProCeed B hangt niets. Verder verschillen de auto's niet van elkaar.
Toon aan dat de versnelling van ProCeed B ongeveer 2× zo groot is als de versnelling van ProCeed A.

Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE VALVERSNELLING

8 In tabel 1 staan gegevens van een aantal hemellichamen.

tabel 1 Gegevens van enkele hemellichamen.

hemellichaam	straal in m	massa in kg
Mars	$3{,}39 \cdot 10^{6}$	$6{,}42 \cdot 10^{23}$
maan	$1{,}74 \cdot 10^{6}$	$7{,}35 \cdot 10^{22}$
aarde	$6{,}37 \cdot 10^{6}$	$5{,}97 \cdot 10^{24}$

a Bereken met de formule $g = G \cdot \frac{M}{R^2}$ de valversnelling op de planeet Mars.

b Bereken de zwaartekracht op een astronaut met een massa van 100 kg op de planeet Mars.

c Stel dat deze astronaut op de planeet Mars op een weegschaal (meegebracht vanaf de aarde) zou gaan staan. Bereken wat de aanwijzing van de weegschaal in kg dan zou zijn.

9 Tijdens een maanlanding in 1971 deed de Amerikaanse astronaut David Scott een eenvoudig experiment (figuur 11). Hij liet een hamer en een veer tegelijk van dezelfde hoogte vallen. Op een video die van dit experiment is gemaakt, zie je dat de twee voorwerpen op hetzelfde moment de maanbodem bereiken.

a Uit een videometing blijkt dat de veer en de hamer beide na 1,4 s neerkomen met een snelheid van 2,3 m/s. Bereken de valversnelling op de maan.

b Gebruik bij het beantwoorden van deze opdracht tabel 1 en de formule voor de valversnelling uit opdracht 9.
Vul de juiste getallen met drie significante cijfers in en licht je antwoord toe:

De straal van de aarde is .... × zo groot als de straal van de maan.

De massa van de aarde is .... × zo groot als de massa van de maan.

De valversnelling op de aarde is volgens de formule dus .... × zo groot als de valversnelling van de maan.

c Bereken met het antwoord op opdracht b opnieuw de valversnelling op de maan.
Komt het antwoord overeen met de waarde die je bij opdracht a hebt gevonden?



figuur 11 In 1971 liet astronaut David Scott zien dat op de maan een hamer en een veer met dezelfde versnelling en snelheid vallen.

4 Remmen en botsen

LEERDOELEN

4.4.1 Je kunt de stopafstand berekenen.
4.4.2 Je kunt de stopafstand bepalen door de oppervlakte onder de grafiek in een (*v*,*t*)-diagram af te lezen.
4.4.3 Je kunt uitleggen wat de werking is van de veiligheidsvoorzieningen in een auto aan de hand van het verkleinen van de vertraging.
4.4.4 Je kunt de druk op een ondergrond berekenen.
PLUS 4.4.5 Je kunt de begrippen arbeid en bewegingsenergie uitleggen en de formules voor deze grootheden in verschillende situaties toepassen.

De overheid heeft allerlei maatregelen genomen om het verkeer veiliger te maken. Zo mogen auto's in delen van de bebouwde kom niet sneller rijden dan 30 km/h. Dat is niet voor niets: de gevolgen van een botsing bij een snelheid van 50 km/h kun je vergelijken met een val vanaf een tien meter hoog gebouw.

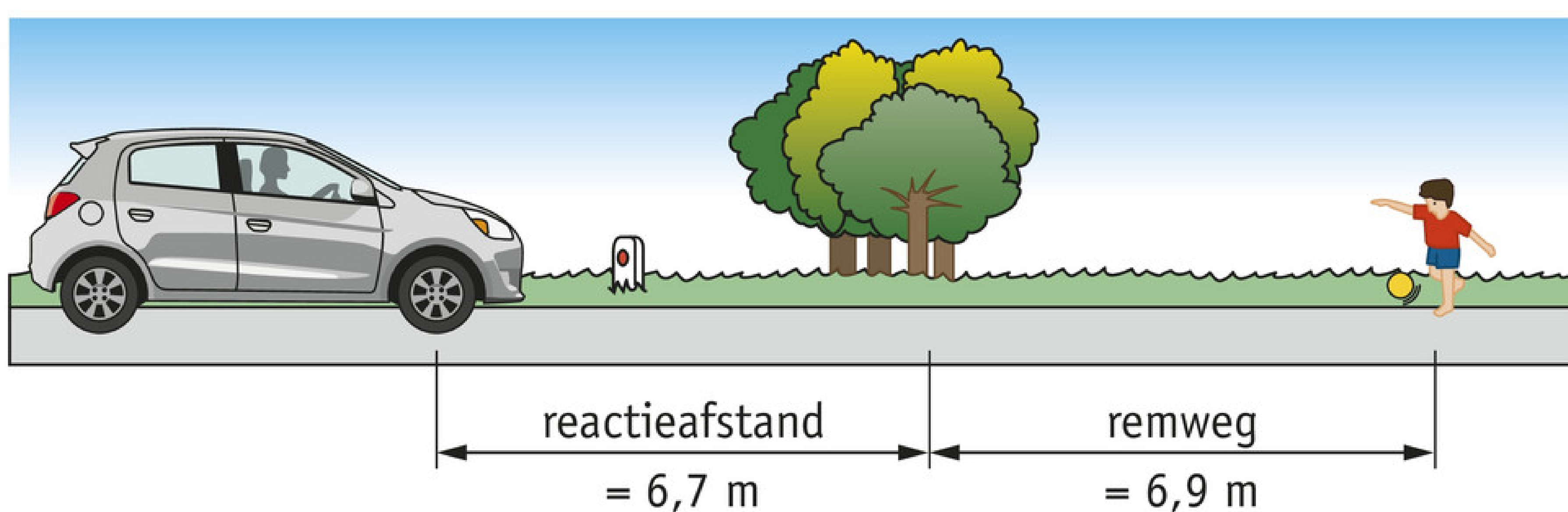
DE STOPAFSTAND BEPALEN

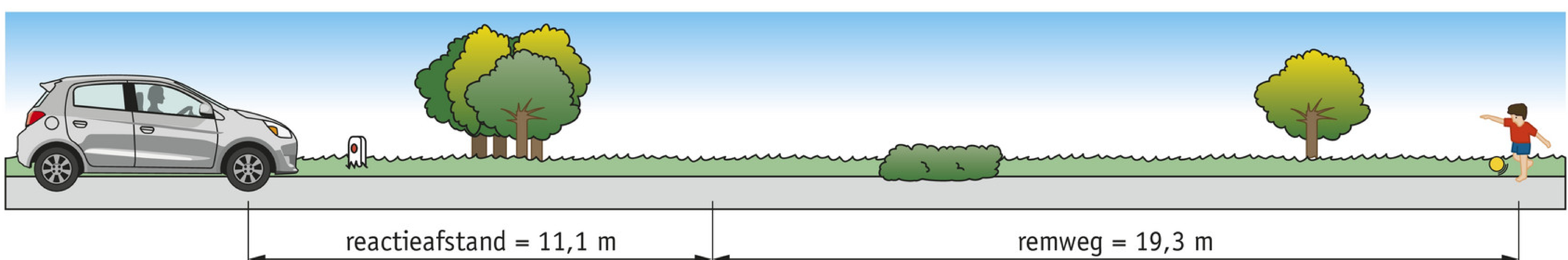
Als een automobilist wil stoppen, duurt het even voordat het rempedaal is ingetrapt en de remmen aanslaan. De tijd die daarvoor nodig is, noem je de **reactietijd**. Tijdens de reactietijd rijdt de auto nog verder met een constante snelheid. De afstand die de auto tijdens deze eenparige beweging aflegt, wordt de **reactieafstand** genoemd.

Nadat de remmen zijn ingetrapt, beweegt de auto bij benadering eenparig vertraagd verder, tot hij stilstaat. De afstand die de auto tijdens deze eenparig vertraagde beweging aflegt, noem je de **remweg**. De totale stopafstand bestaat dus uit twee delen: de reactieafstand en de remweg:

stopafstand = reactieafstand + remweg

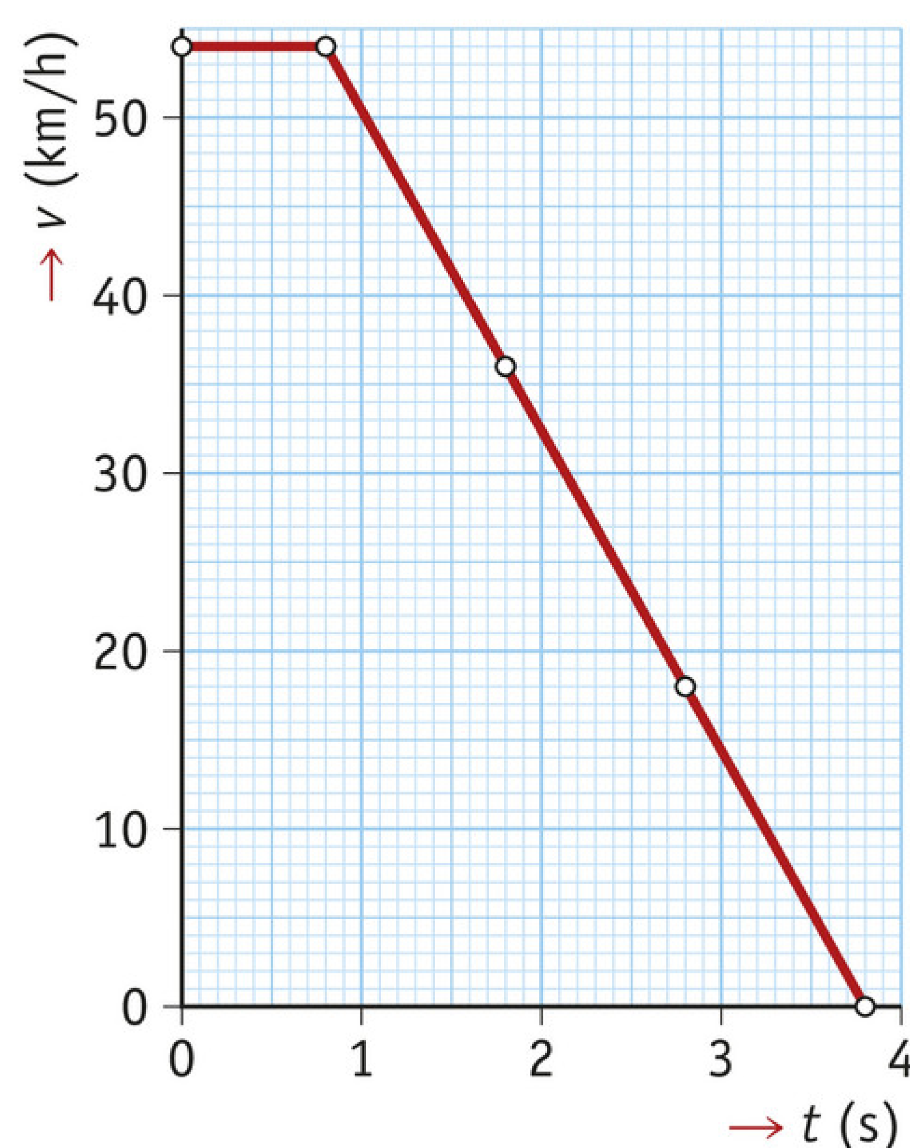
Hoe sneller iemand rijdt, des te groter zijn de reactieafstand en de remweg en dus ook de stopafstand (figuur 1).





figuur 1 De stopafstand bij 0,8 s reactietijd en een vertraging van 5 m/s².

In figuur 2 zie je het (v,t)-diagram van een auto die afremt voor een zebrapad. Zoals je uit het diagram kunt aflezen, is de reactietijd 0,8 s. Daarna vertraagt de auto 3,0 s lang, tot hij stilstaat. Je kunt de stopafstand bepalen door de oppervlakte onder het (v,t)-diagram af te lezen. Als je dat doet in figuur 2, nadat je de snelheid hebt omgerekend van km/h naar m/s, kom je uit op een stopafstand van 34,5 m. Ga zelf na dat dit zo is.



figuur 2 Stoppen voor een zebrapad: eerst reageren, dan remmen.

BOTSEN

Tijdens een botsing komen de inzittenden van een auto opeens tot stilstand. Dat betekent dat ze een sterke vertraging ondergaan. Hoe groot die vertraging is, hangt af van twee factoren:

- de snelheid van de auto op het moment van de botsing;
- de tijd waarin hun lichaam tot stilstand wordt gebracht.

Hoe groter de vertraging a, des te groter is de afremmende kracht F die op hun lichaam wordt uitgeoefend. Dat volgt rechtstreeks uit de formule $F = m \cdot a$. Om het risico op verwondingen te beperken, moet de vertraging dus zo klein mogelijk zijn. Dat kun je bereiken door de snelheid kleiner te maken en door de botsingstijd te verlengen.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Bij een botsproef met een auto komt een testpop (80 kg) in 0,060 s tot stilstand. De snelheid van de auto is 9,0 m/s. De pop is vastgemaakt met een gordel die niet uitrekt. Bereken de gemiddelde remkracht op de pop.

gegevens m = 80 kg
v_b = 9,0 m/s
v_e = 0 m/s
Δt = 0,060 s

gevraagd F = ?

uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 0 - 9{,}0 = -9{,}0$ m/s

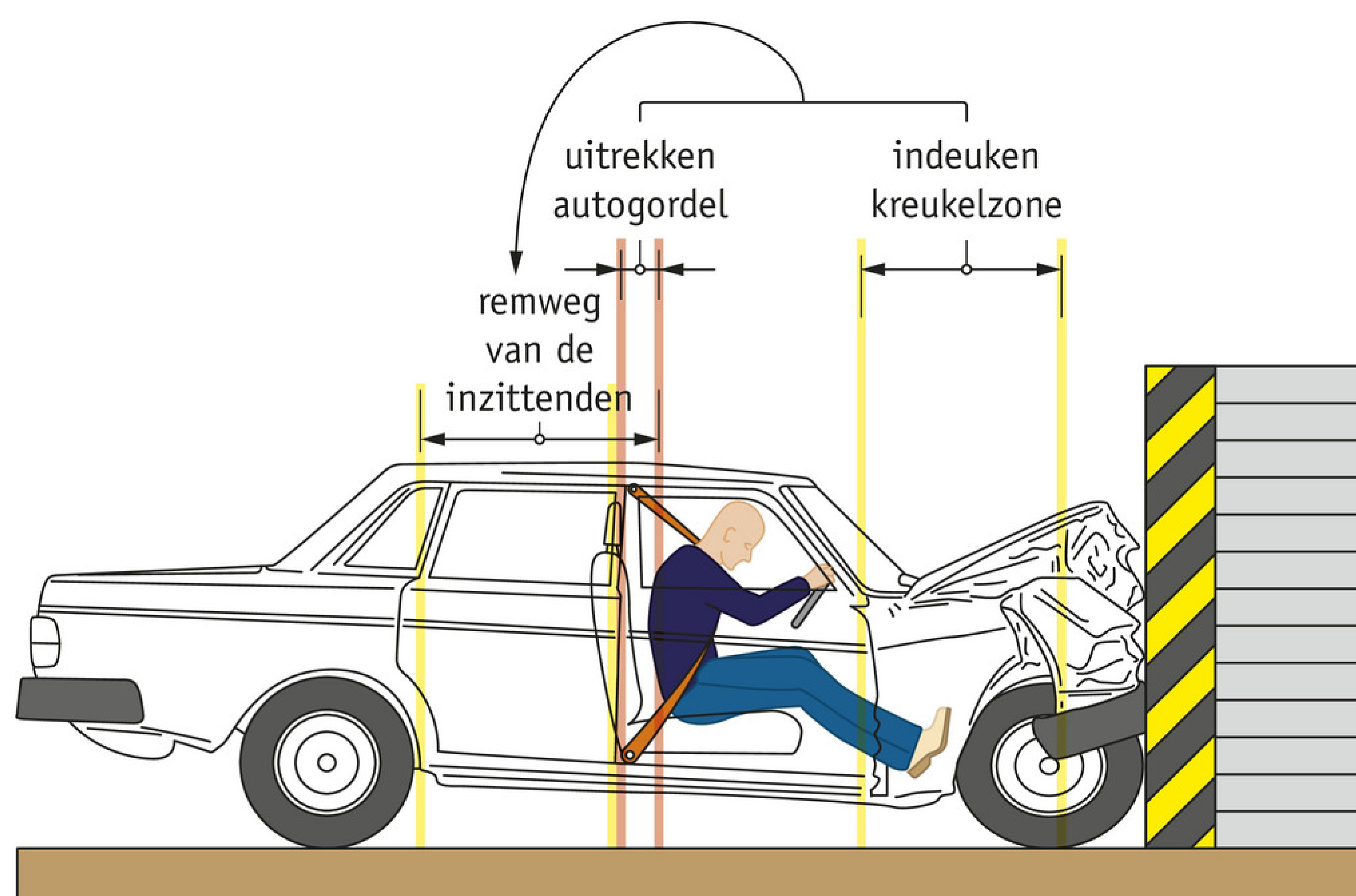
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-9{,}0}{0{,}060} = -150 \text{ m/s}^2$$

$F = m \cdot a = 80 \times -150 = -12\,000$ N $= -12$ kN

VEILIG AUTORIJDEN

Het kiezen van een verantwoorde rijsnelheid is de verantwoordelijkheid van de bestuurder. Die moet de risico's inschatten en zijn snelheid daarop aanpassen. Als er een verhoogde kans op een botsing bestaat, bijvoorbeeld bij extreem druk verkeer of een glad wegdek, behoor je snelheid terug te nemen. Je kunt dan andere verkeersdeelnemers beter ontwijken. Als er toch een botsing plaatsvindt, is de vertraging en dus de ook de kracht kleiner.

Het verlengen van de botsingstijd is een opgave voor auto-ontwerpers. In de loop van de tijd hebben zij allerlei manieren bedacht om de botsingstijd zo lang mogelijk te maken. De voor- en achterkant van een auto worden bijvoorbeeld zo gemaakt dat ze bij een botsing gemakkelijk in elkaar worden gedrukt. Door deze **kreukelzones** duurt de botsingstijd langer en zijn de afremmende krachten minder groot (figuur 3).



figuur 3 Een botsproef. Je ziet hoe de remweg – en daardoor de remtijd – voor de inzittenden zo lang mogelijk wordt gemaakt.

Veiligheidsgordels en airbags zorgen ervoor dat de inzittenden samen met de auto met een relatief lange botsingstijd worden afgeremd, zodat ze niet opeens tegen de voorruit slaan, zoals bij een ultrakorte botsingstijd. Bovendien verdelen gordels en airbags de afremmende krachten over een grotere oppervlakte. Ook hierdoor neemt de kans op verwondingen af.

DRUK

Gordels oefenen bij een botsing een grote kracht uit op de inzittenden. Daarom zijn gordels geen smalle, maar vrij brede riemen. Het contactoppervlak tussen de gordel en het lichaam is daardoor groter en dat vermindert de druk op het lichaam.
Voor de **druk** *p* geldt:

$$p = \frac{F}{A}$$

Hierin is:

- p de druk in newton per vierkante meter (N/m^2) of pascal (Pa);
- F de kracht op de ondergrond in newton (N);
- A de oppervlakte in vierkante meter (m^2).

VOORBEELDOPDRACHT 2

De oppervlakte van het gebied waar de autogordel op de pop van voorbeeldopdracht 1 drukt, is 300 cm^2.
Bereken de (gemiddelde) druk op de testpop tijdens het afremmen.

gegevens F_{gem} = 12 kN = $12 \cdot 10^3$ N
A = 300 cm^2 = 3,00 dm^2 = 0,0300 m^2

gevraagd p = ?

uitwerking $p = \dfrac{F}{A} = \dfrac{12 \cdot 10^3}{0{,}0300} = 4{,}0 \cdot 10^5$ Pa

Op je scooter vermindert een valhelm het risico op verwondingen. Een valhelm bestaat uit een harde schil en een zachte binnenkant. De zachte binnenkant verlengt de botsingtijd en vermindert daardoor de kans op hersenletsel. De harde schil verdeelt de kracht over een grotere oppervlakte waardoor de druk veel kleiner wordt. Dat verkleint de kans op hoofdletsel aanzienlijk.

PLUS ARBEID

Dingen die bewegen, hebben **bewegingsenergie**, ook wel **kinetische energie** genoemd. De vuisten van een bokser, een auto in het verkeer: hoe sneller ze bewegen, des te meer energie ze hebben. De hoeveelheid bewegingsenergie hangt niet alleen af van de snelheid. De massa van het voorwerp speelt ook een rol. Hoe groter de massa is, des te meer bewegingsenergie heeft het voorwerp. Dat merk je als je een spijker in een stuk hout slaat. Een zware hamer (grote massa) is veel effectiever dan een lichte hamer (kleine massa).
De bewegingsenergie van zo'n hamer bereken je met:

$$E_k = ½m \cdot v^2$$

Hierin is:
- E_k de kinetische energie (of bewegingsenergie) in joule (J);
- m de massa in kilogram (kg);
- v de snelheid in meter per seconde (m/s).

Met deze energie kun je dingen doen, zoals een spijker in een plank slaan. Je zegt dan dat je **arbeid** verricht. De hamer oefent een kracht (F) uit op de spijker, en deze kracht verplaatst zich over een afstand (s): de afstand waarover de spijker doordringt in het hout.

De arbeid die een kracht verricht bereken je met:

$$W = F \cdot s$$

Hierin is:
- W de arbeid in joule (J);
- F de kracht in newton (N);
- s de afstand in meter (m).

De verrichte arbeid heeft dezelfde eenheid als energie (J), omdat energie het vermogen is om arbeid te verrichten. Je moet dus energie hebben om arbeid te verrichten.
De hoeveelheid arbeid die een kracht heeft verricht is altijd gelijk aan de hoeveelheid energie die is omgezet (bij de hamer: bewegingsenergie is omgezet in wrijvingswarmte).

VOORBEELDOPDRACHT 3

Als een auto remt wordt de bewegingsenergie omgezet in andere energievormen, zoals warmte en geluid. Bereken de remkracht die nodig is om een auto (massa = 1200 kg) met een snelheid van 20 m/s binnen 50 m tot stilstand te brengen.

gegevens $s = 50$ m
$m = 1{,}2 \cdot 10^3$ kg
$v = 20$ m/s

gevraagd $F = ?$

uitwerking De hoeveelheid (omgezette) bewegingsenergie is gelijk aan de arbeid die is verricht door de remkracht:
$F \cdot s = ½\, m \cdot v^2$
$F \times 50 = ½ \times 1{,}2 \cdot 10^3 \times 20^2$
$F \times 50 = 2{,}4 \cdot 10^5$
$F = 4{,}8 \cdot 10^3$ N = 4,8 kN


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe noem je een beweging waarvan de snelheid gelijkmatig afneemt?
- **b** Wat wordt bedoeld met de uitspraak: “De vertraging van de auto is 5 m/s^2”?
- **c** Welke twee afstanden moet je optellen om de totale stopafstand te vinden?
- **d** Van welke factoren hangt de vertraging af die het lichaam bij een botsing ondergaat?
- **e** Wat is de eenheid van druk?

2
- **a** Leg uit wat er tijdens een botsing gebeurt met de kreukelzone van een auto.
- **b** Waardoor maakt een kreukelzone het risico voor de inzittenden kleiner?
- **c** Leg uit hoe het komt dat een gordel de botsingskracht op het lichaam vermindert.

TOEPASSING

3 Hier worden drie eenparig vertraagde bewegingen beschreven.
Bereken voor elke beweging hoe groot de vertraging is.
- **a** Catlyn fietst met een snelheid van 5 m/s. Ze houdt op met trappen. Na 20 s is haar snelheid afgenomen tot 2,3 m/s.
- **b** Een auto die 72 km/h rijdt, remt voor een stoplicht. Na 7,0 s staat de auto stil.
- **c** Een auto botst met een snelheid van 50 km/h tegen een boom. De bestuurder komt na 0,30 s tot stilstand.

4 Lees het krantenartikel in figuur 4.

- **a** Leg uit of de inzittende die zwaargewond is geraakt naar voren of naar achteren viel.
- **b** Aan welk veiligheidsvoorschrift voldeed de inzittende niet?
- **c** De buschauffeur (massa 95 kg) remde met een vertraging van 6,0 m/s^2. Hij had een veiligheidsgordel om.
  Bereken hoe groot de kracht was die de gordel op de chauffeur uitoefende.
- **d** De contactoppervlakte tussen de gordel en de chauffeur bedroeg 250 cm^2.
  Bereken de druk van de veiligheidsgordel op de chauffeur.

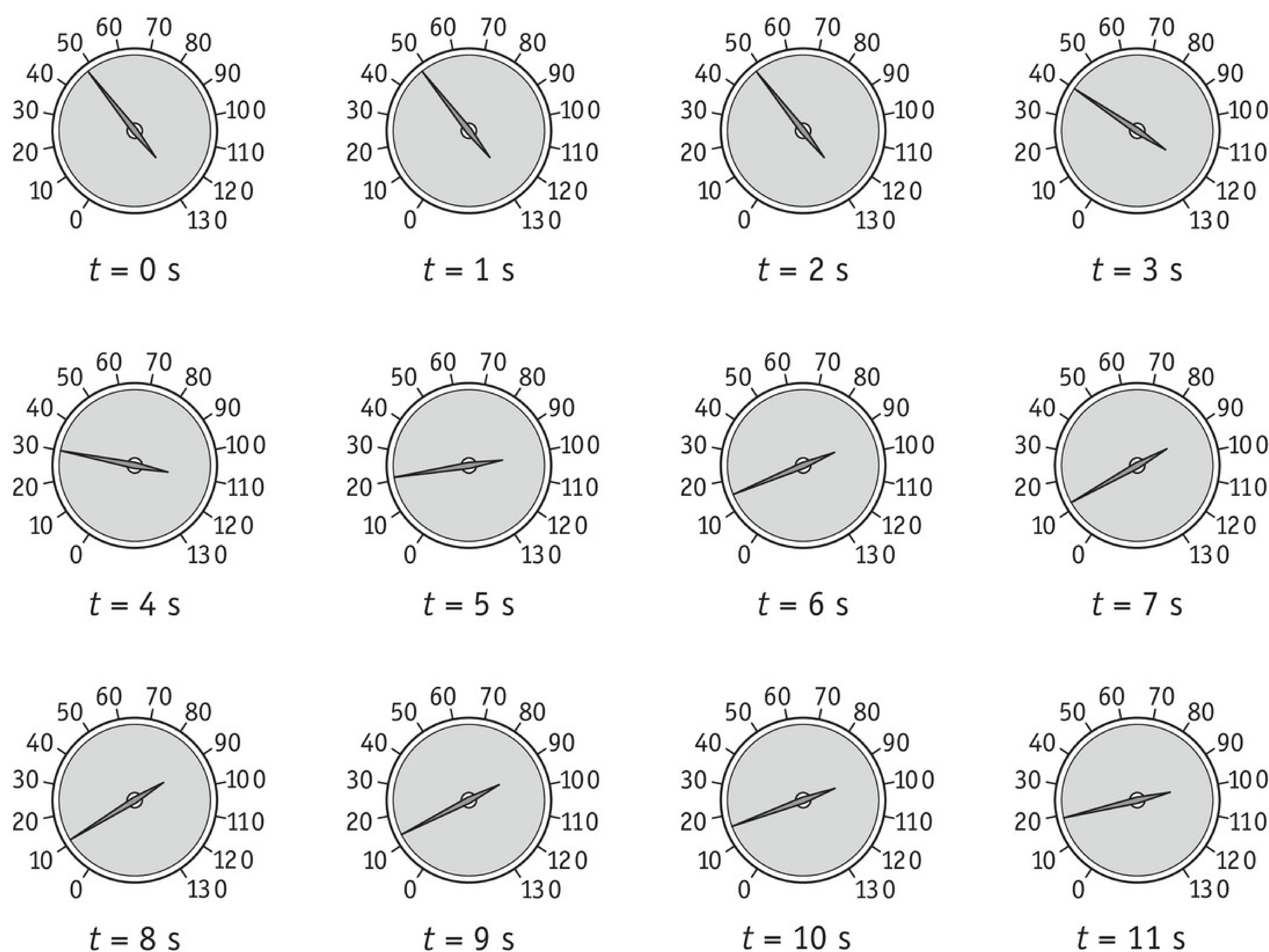
figuur 4 De gevolgen van plotseling krachtig remmen.

Bus moet remmen, vier passagiers gewond

Almere – Vier inzittenden van een bus in Almere Haven zijn dinsdag gewond geraakt toen de chauffeur plotseling moest remmen voor een overstekende bromfietser. Volgens de politie raakte een van de passagiers die ten val kwam ernstig gewond. Ook een tweede passagier moest naar het ziekenhuis worden gebracht.
De bus reed kort voor half twaalf 's ochtends op de Bivak in Almere Haven. Hoewel de chauffeur hard remde, kon hij een aanrijding niet voorkomen. De bromfietser bleef volgens de politie ongedeerd.
De politie onderzoekt nog hoe het ongeval precies kon gebeuren en is op zoek naar getuigen.

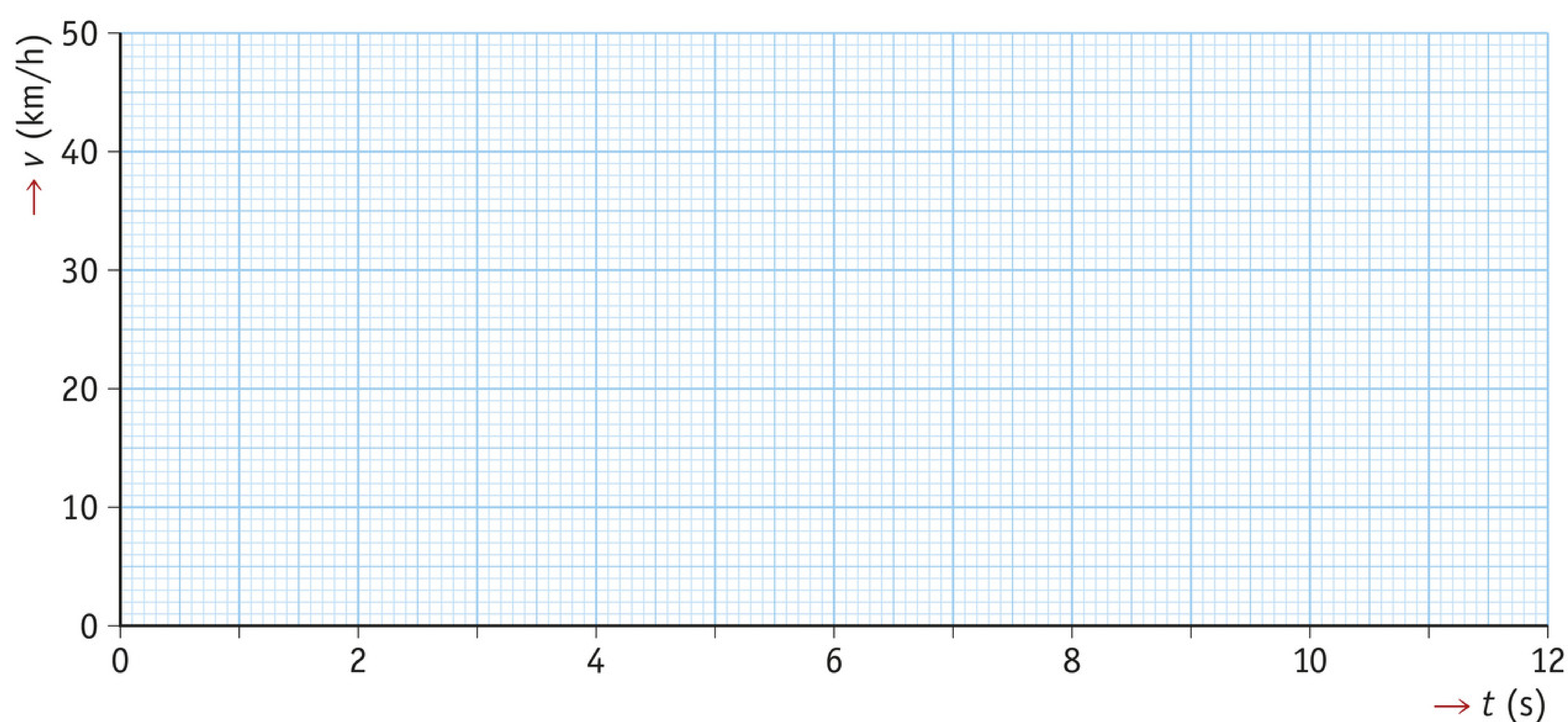
Bron: www.omroepflevoland.nl

5 Bart rijdt in zijn auto door het drukke stadsverkeer. In figuur 5 kun je zien hoe groot de snelheid van Barts auto is gedurende 11 s van die rit.



figuur 5 De snelheid van Bart.

- **a** Teken in het (v,t)-diagram in figuur 6 de grafiek van de beweging van Barts auto.
- **b** Waaraan kun je zien dat de beweging tussen t = 3 s en t = 8 s niet eenparig vertraagd is?
- **c** Hoe groot is de gemiddelde vertraging tussen t = 3 s en t = 8 s?
- **d** Hoe beweegt de auto verder na t = 8 s?



figuur 6 Grafiek van de beweging van Bart.

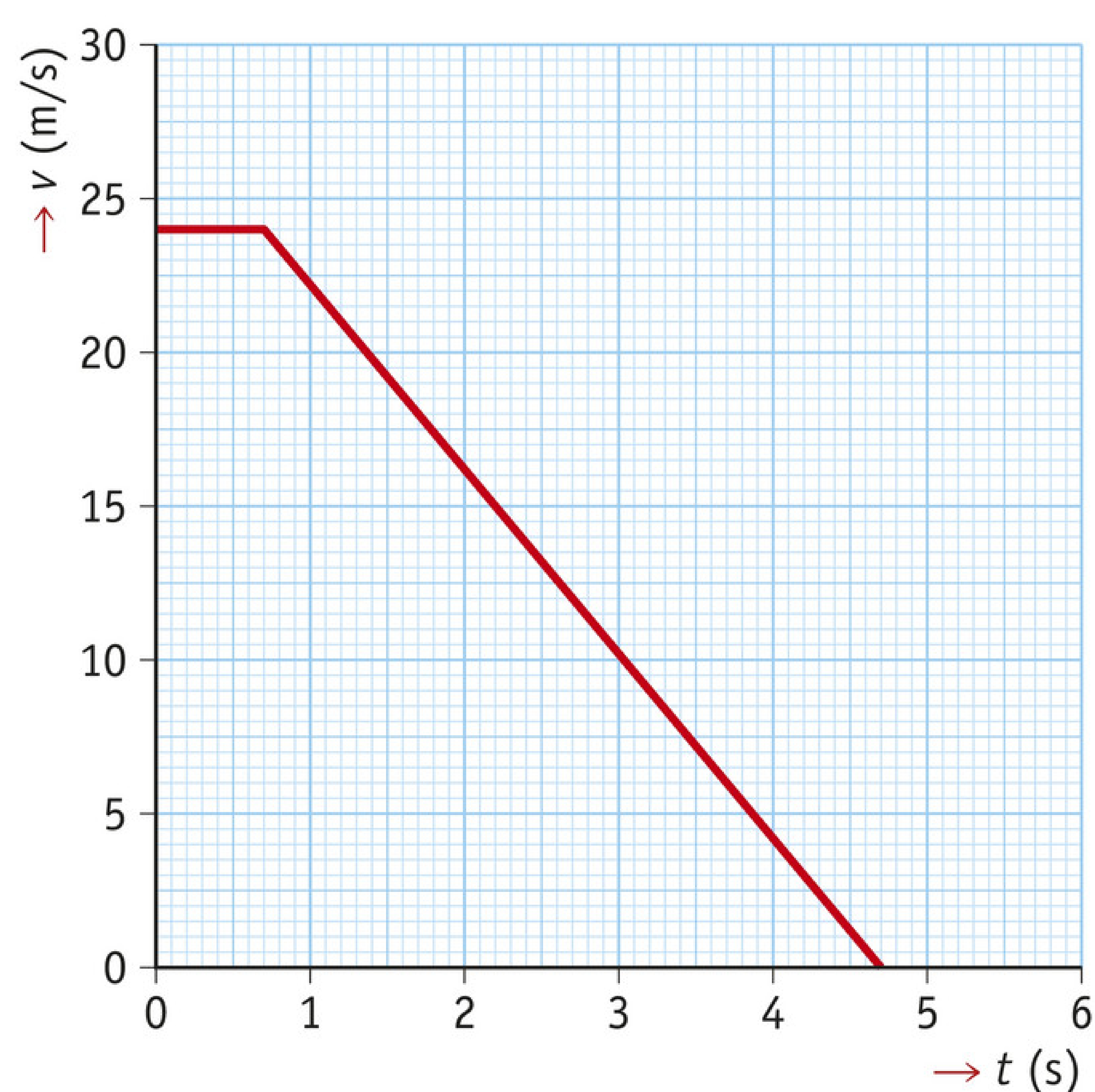
6 Een automobilist ziet een eindje voor zich een haas de weg op rennen. Hij probeert voor het dier te stoppen. In figuur 7 zie je het (*v*,*t*)-diagram van zijn auto, vanaf het moment (t = 0 s) dat hij de haas waarneemt.

a Lees de reactietijd af uit figuur 7. De reactietijd is .... s.

b Bepaal de vertraging waarmee de auto afremt.

c De massa van de auto met bestuurder is 800 kg.
Bereken de remkracht die op de auto wordt uitgeoefend.

d Bepaal de stopafstand met behulp van figuur 7.



figuur 7 Een automobilist stopt voor een haas.

7 De airbags in een auto worden razendsnel opgeblazen als de auto een vertraging van meer dan 50 m/s² ondervindt. Als het lichaam van een inzittende als gevolg van de botsing naar voren schiet, wordt het door de airbag opgevangen (figuur 8). De airbag geeft daarbij mee, net als een ballon waar je met een vinger in duwt.

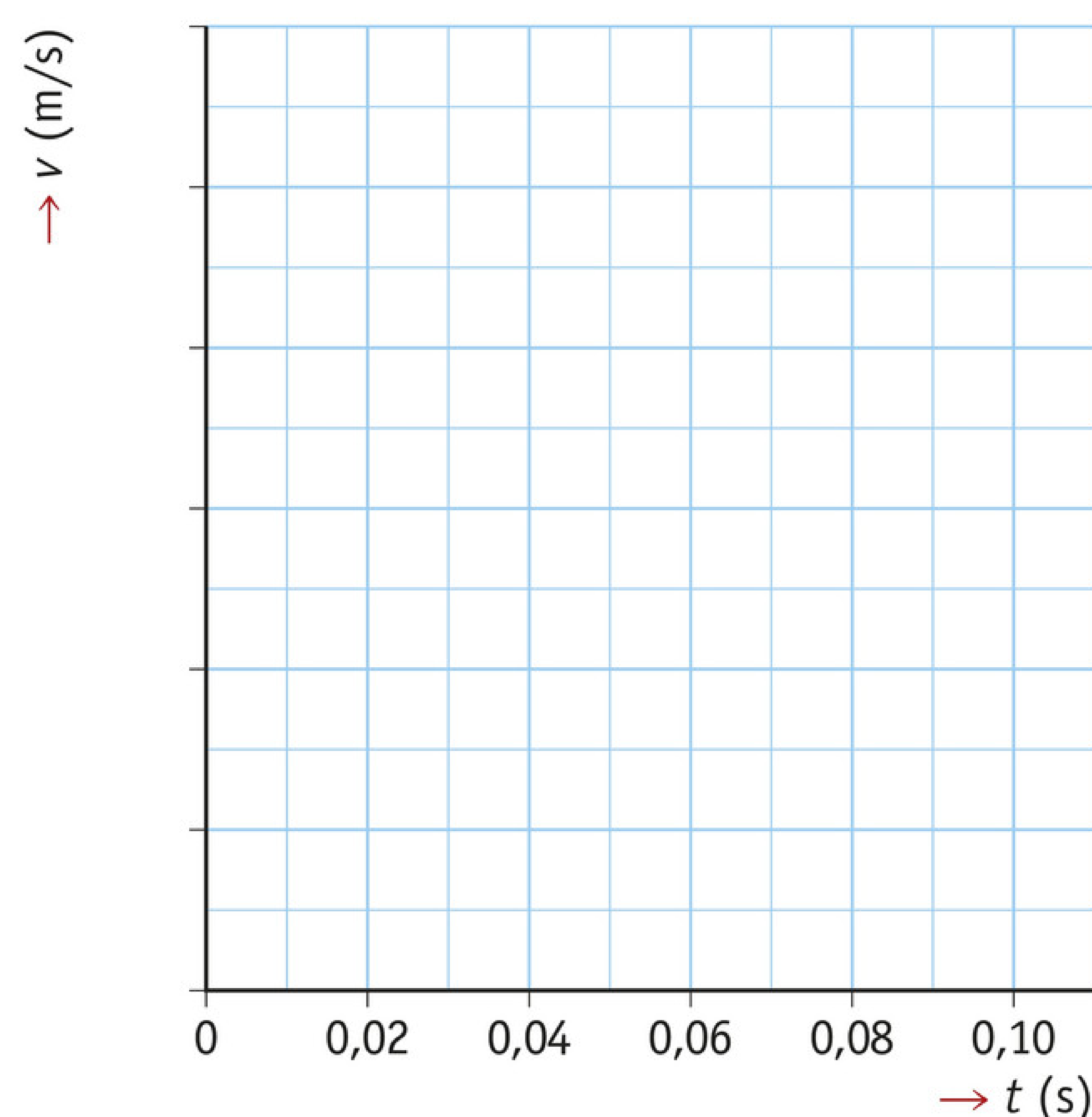


figuur 8 Tijdens een botsproef wordt een airbag getest.

a De airbag verkleint de kans dat de inzittenden bij een ongeluk gewond raken.
Geef hiervoor een natuurkundige verklaring.

b Bij een test botst een auto met een snelheid van 20 km/h tegen een betonnen wand. Hierbij komt de auto binnen 0,10 s tot stilstand. De kreukelzone van de auto is zo gemaakt dat de auto bij de botsing eenparig vertraagt.
Ga met een berekening na of de airbag bij deze botsing zal worden opgeblazen.

c Toon aan dat de kreukelzone van de auto tijdens de botsproef 28 cm is ingedrukt. Tip: schets eerst in figuur 9 het (v,t)-diagram van deze beweging.



figuur 9 Het (v,t)-diagram van de botsing.

★ 8 Uit remtests met twaalf e-bikes en twaalf verschillende bestuurders blijkt dat de 'Keola Delft' de grootste gemiddelde vertraging tijdens het remmen heeft.

a Bedenk zelf een oorzaak waardoor de vertraging niet bij alle bestuurders gelijk is.

b Bij een snelheid van 20 km/h is de gemiddelde vertraging tijdens de test van alle bestuurders 13,9 m/s^2.
Toon met een berekening aan dat de gemiddelde remtijd tijdens deze test 0,4 s is.

c Bereken de gemiddelde remweg tijdens deze test.

d Met een e-bike kun je snelheden tot 25 km/h bereiken. Steeds meer gebruikers van een e-bike dragen daarom een helm. Zo'n helm heeft een harde buitenkant en een binnenkant van zacht, veerkrachtig materiaal.
Geef twee natuurkundige redenen waarom je met zo'n helm minder kans loopt op ernstig letsel.

e Een e-biker zonder helm valt tijdens het fietsen. Hij raakt met zijn hoofd de grond. De plek op zijn hoofd die de grond raakt heeft een oppervlakte van 4,4 cm^2.
Hoeveel keer wordt de druk op die plek op zijn hoofd verkleind als hij een helm (maat 58, dit is de omtrek van het hoofd) zou dragen? Doe bij deze opdracht zelf enkele aannamen en gebruik in je oplossing de formule voor de oppervlakte van een bol $A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$.

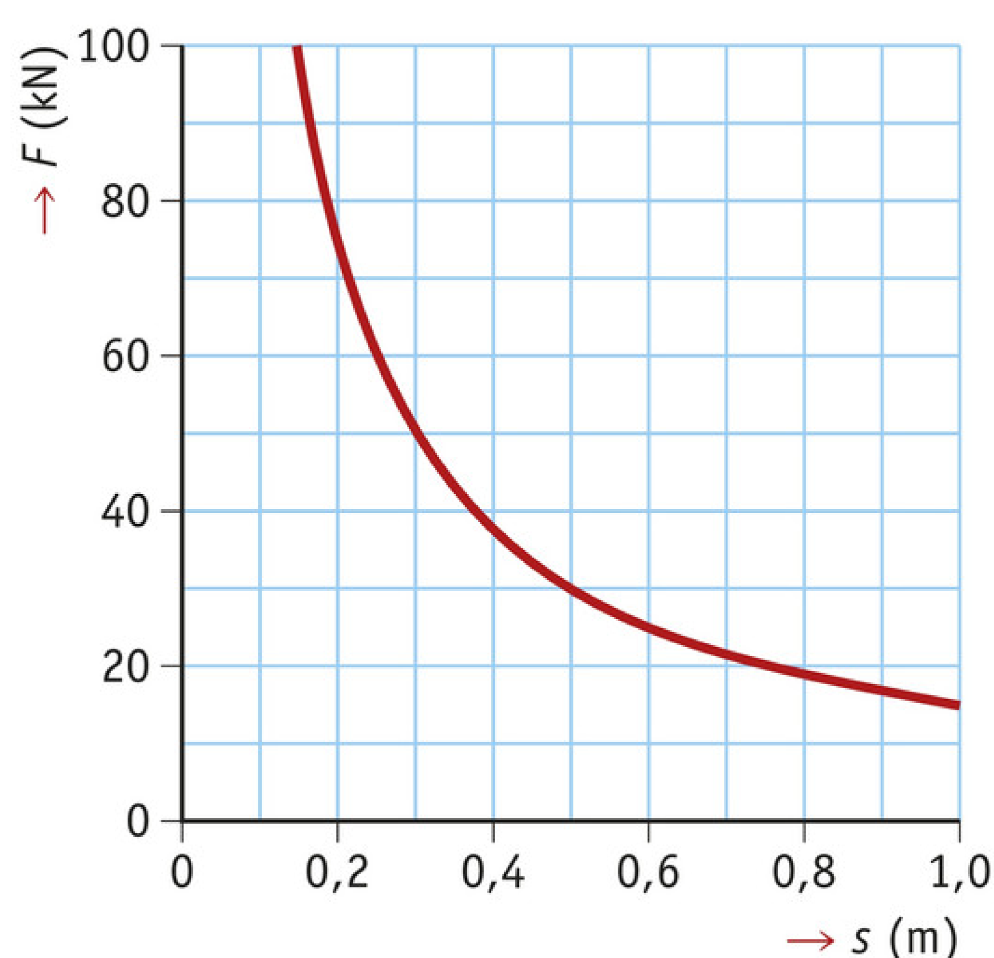
★ 9 Tijdens een botsproef rijdt een testauto met een snelheid van 72 km/h tegen een betonnen muur. In de auto zit een testpop van 75 kg die net als een gewone inzittende een veiligheidsgordel draagt. In figuur 10 zie je hoe de gemiddelde kracht die de pop afremt, afhangt van de afstand die de pop tijdens de botsing aflegt.

a Tijdens de botsing legt de pop een afstand af van 0,60 m.
Bepaal de (gemiddelde) remkracht op de pop.

b De pop zit vast met een 6,0 cm brede gordel die over een lengte van 1,2 m met de pop contact maakt.
Bereken de gemiddelde druk van de pop op de gordel tijdens de botsing.

c Bereken de (gemiddelde) remvertraging.

d Dat de pop tijdens de botsing een afstand van 0,60 m aflegt, komt deels door de kreukelzone (50 cm) en deels door het uitrekken van de veiligheidsgordel (10 cm).
Bepaal hoe groot de kracht op de pop zou zijn, als de veiligheidsgordel niet uit zou rekken.



figuur 10 Het verband tussen de remweg bij een botsing en de kracht op de testpop.


Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS ARBEID

10 Leg uit of de beweringen bij opdracht a en b juist of niet juist zijn.

a Een auto moet tijdens een botsing vervormen; een langere botsingsafstand zorgt namelijk voor een kleinere kracht op de inzittenden.

b Bij een twee keer zo grote snelheid moet er twee keer zo veel arbeid worden verricht om tot stilstand te komen.

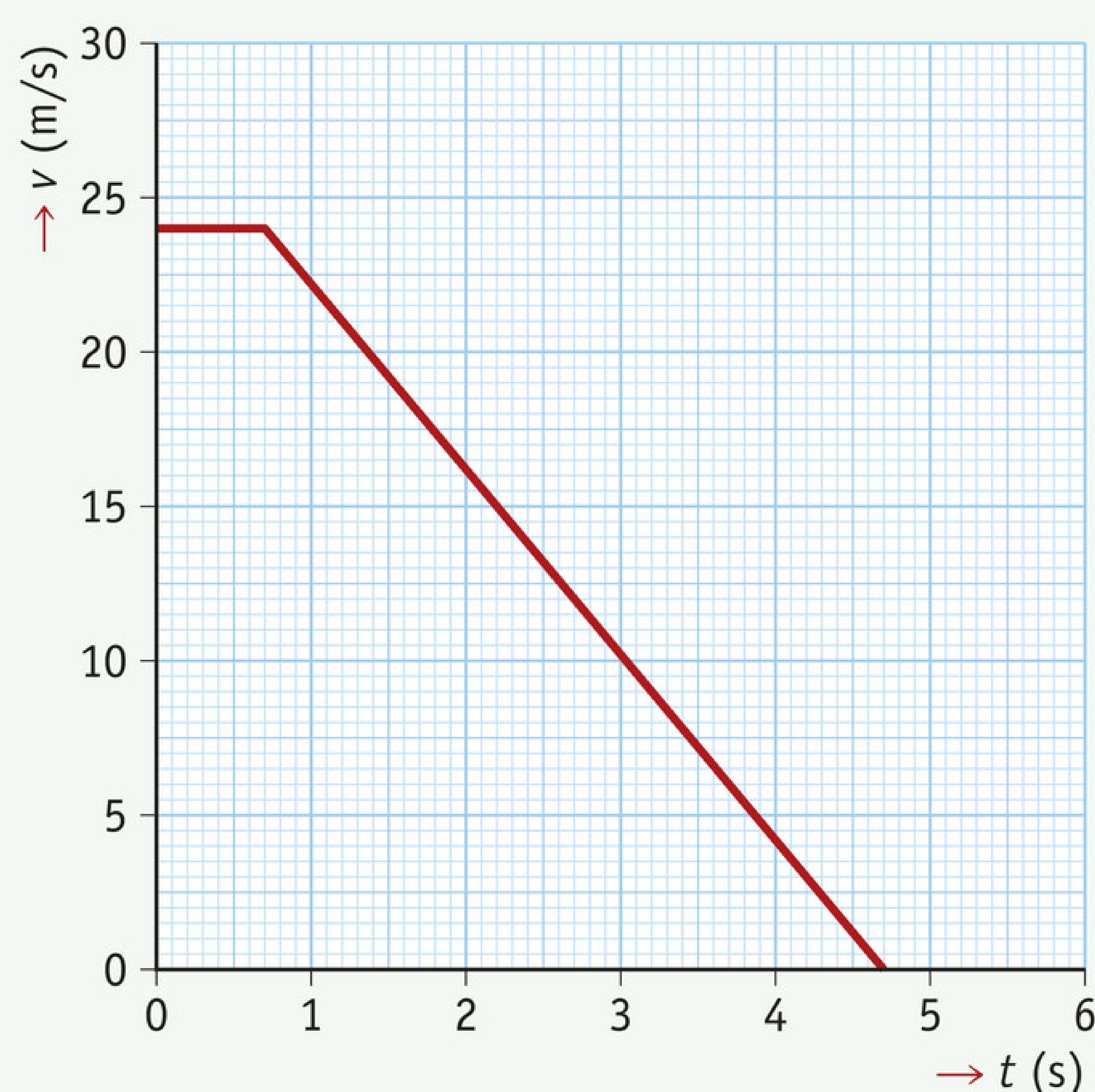
c Bij een botsing is de remkracht op de inzittende 24 kN.
Bereken de remkracht op de inzittende bij een twee keer zo grote snelheid. Ga ervan uit dat de botsingsafstand gelijk blijft.

11 Bij een botsing komen de inzittenden van een auto over een heel korte afstand tot stilstand. De bewegingsenergie van de inzittenden wordt uiteindelijk in andere energievormen zoals warmte omgezet. Hierbij geldt weer: de arbeid die de remkracht (uitgeoefend door de autogordels) verricht is gelijk aan de bewegingsenergie die de inzittende had.
Bij een botsing komt een inzittende (massa = 80 kg) over een afstand van 0,40 m tot stilstand. De snelheid voor de botsing was 72 km/h.

a Bereken de remkracht op de inzittende.

b In figuur 11 zie je het (v,t)-diagram van een automobilist die voor een haas stopt. De massa van de auto is 800 kg. Bepaal met behulp van de figuur de arbeid die de remkracht heeft verricht. Gebruik hierbij weer het gegeven:
hoeveelheid arbeid = hoeveelheid omgezette bewegingsenergie

c Bepaal met behulp van het antwoord uit opdracht b en figuur 11 hoe groot de remkracht was tijdens het remmen.
Komt het antwoord overeen met de uitkomst die je bij opdracht 6c hebt gevonden?



figuur 11 Een automobilist stopt voor een haas.

Practica

PROEF 1 EEN ONDERZOEK UITVOEREN – DE ROLWEERSTAND VAN EEN FIETS

45 minuten

Inleiding

Stel je voor, in een tijdschrift voor amateurwielrenners beweert een sportwetenschapper: “Veel amateurrenners realiseren zich niet hoe belangrijk een juiste bandenspanning is. Met hard opgepompte banden ga je gewoon sneller: een paar bar extra kan de rolweerstand met wel 20% naar beneden brengen. Bij een tijdrit in een wielerwedstrijd levert dat zomaar enige tientallen seconden tijdswinst op.”
Je vraagt je af of die wetenschapper wel gelijk heeft en gaat op onderzoek uit.

Doel

Je zoekt een antwoord op de onderzoeksvraag:
Hoe hangt de rolweerstand van je fiets af van de druk in de fietsbanden?

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken

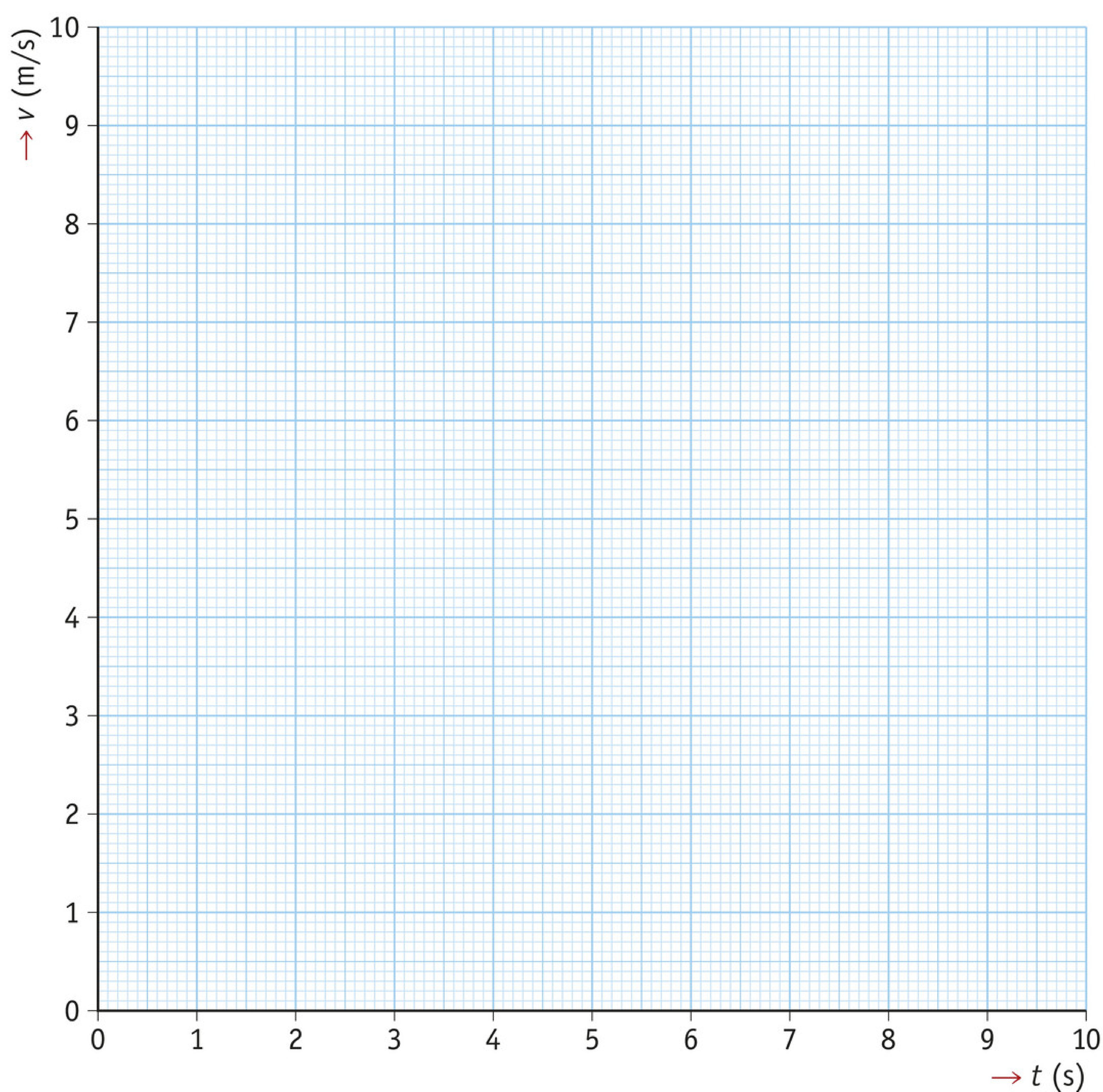
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn? Tip: bedenk eerst hoe je de invloed van de luchtweerstand op je metingen zo klein mogelijk kunt maken.
- Bespreek met elkaar welke risico’s zich zouden kunnen voordoen. Hoe kun je ervoor zorgen dat je deze proef veilig kunt uitvoeren?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les met de klas besproken. Verbeter je eigen werkplan nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

3 Maak een grafiek waarin je de rolweerstand uitzet tegen de druk in de fietsbanden.



4 Noteer je conclusie.

....

....

....

....

Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

PROEF 2 DE VERSNELLING BEPALEN

30 minuten

Inleiding

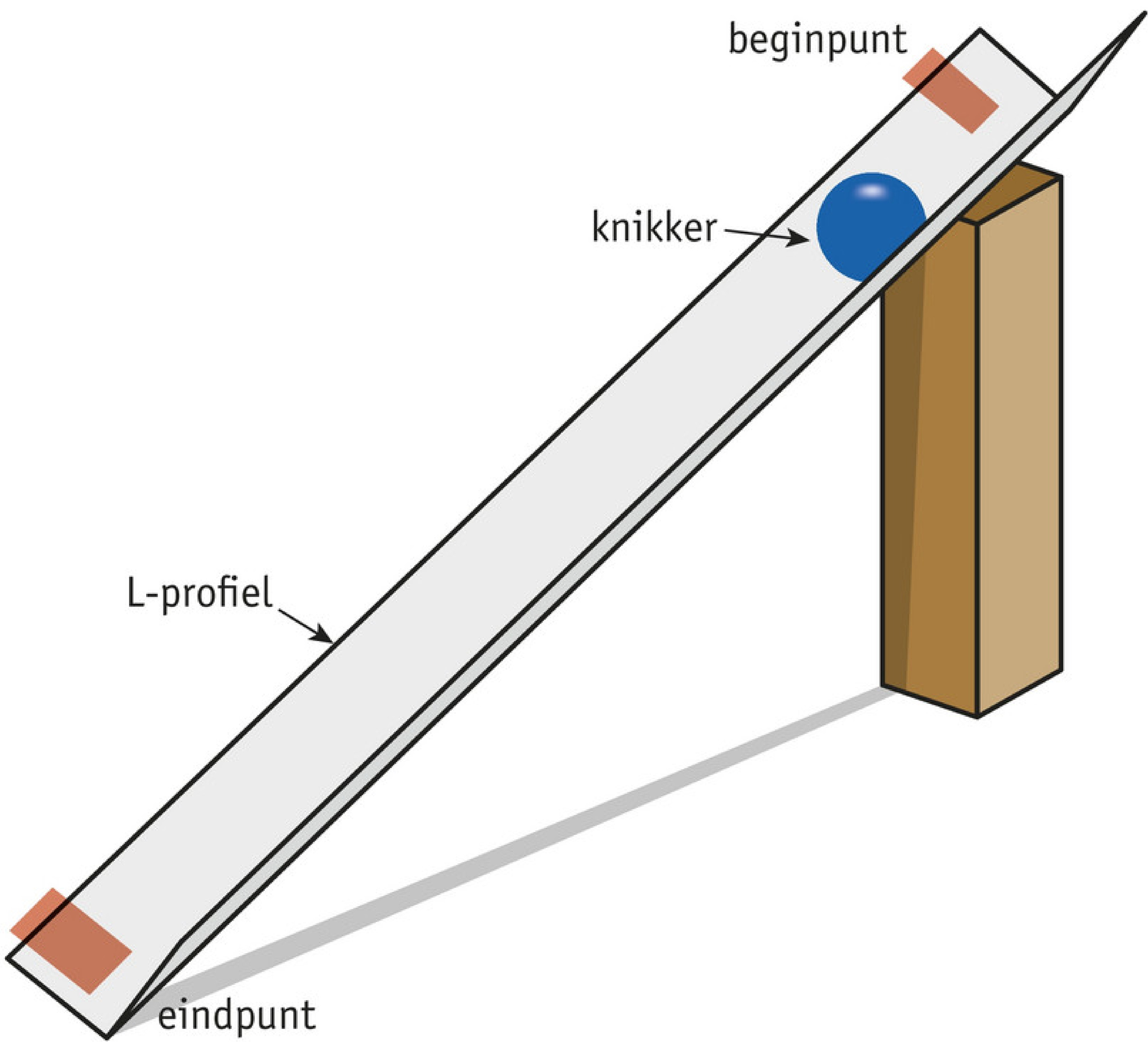
Een knikker rolt over een stalen L-profiel. Doordat de knikker gemakkelijk rolt over het L-profiel is er bijna geen weerstandskracht. Als je het L-profiel een beetje schuin zet, beweegt de knikker met een constante versnelling naar beneden.

Doel

Bij deze proef bepaal je de versnelling van een knikker in een L-profiel.

Nodig
- ☐ knikker
- ☐ L-profiel (bijvoorbeeld stucprofiel)
- ☐ afplaktape
- ☐ stopwatch
- ☐ meetlat / meetlint

Uitvoeren en uitwerken
- Bouw de opstelling van figuur 1. Markeer met afplaktape het startpunt en het eindpunt van de beweging.
- Meet de afstand tussen het startpunt en het eindpunt.



figuur 1 De opstelling van proef 1.

1 Noteer in tabel 1 de gemeten afstand op de juiste plaats in de tabel.

tabel 1 De resultaten van proef 1.

meting	afstand (m)	tijd (s)
1		
2		
3		
4		
5		
gemiddelde		

- Leg de knikker op het startpunt.
- Laat de knikker los en start tegelijkertijd de tijdmeting.
- Stop de tijdmeting als de knikker voorbij het eindpunt rolt. Noteer op de juiste plaats in tabel 1 de gemeten tijd.
- Voer deze meting vijf keer achter elkaar uit.

2 Bereken de gemiddelde tijd. Noteer deze in tabel 1.

3 Bereken de gemiddelde snelheid v_{gem} van de knikker. Noteer deze in de tabel.

4 De eindsnelheid van de knikker is 2× zo groot als de gemiddelde snelheid. Bereken de eindsnelheid v_e van de knikker. Noteer de waarde in de tabel.

5 Bereken nu de versnelling van de knikker. Noteer de uitkomst in de tabel.

Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

PROEF 3 VERSNELLING EN KRACHT

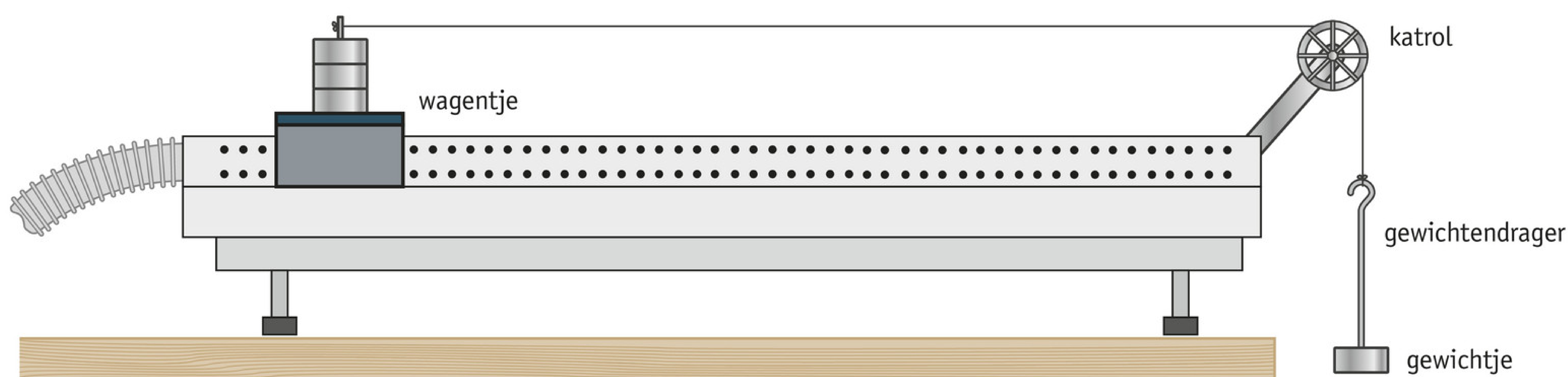
30 minuten

Inleiding
Het wagentje van een luchtkussenbaan zweeft op een kussen van lucht. Daardoor is de weerstand verwaarloosbaar klein. Je hoeft geen rekening te houden met weerstandskrachten die de beweging tegenwerken: de resulterende kracht is even groot als de voortstuwende kracht.

Doel
Je onderzoekt het verband tussen de resulterende kracht op het wagentje en de versnelling.

Nodig
- ☐ luchtkussenbaan
- ☐ wagentje
- ☐ gewichtendrager
- ☐ gewichtjes
- ☐ katrol
- ☐ touw
- ☐ stopwatch / lichtpoort met elektronische timer

Uitvoeren en uitwerken
- Bouw de opstelling van figuur 2.



figuur 2 De opstelling van proef 2.

Meting 1
- Je docent zal je vertellen hoeveel gewichtjes je op de gewichtendrager en op het wagentje moet leggen.

1 Noteer in tabel 2 de massa van de gewichtendrager bij meting 1.

tabel 2 De resultaten van proef 2.

meting	massa drager (g)	kracht (N)	afstand (m)	gemiddelde tijd (s)	gemiddelde snelheid (m/s)	eindsnelheid (m/s)	versnelling (m/s^2)
1							
2							
3							

- Zet het wagentje zo ver mogelijk van het eindpunt. Dit is de startpositie. Meet de afstand tussen het startpunt en het eindpunt.
- Meet de tijd die het wagentje nodig heeft om het einde van de luchtkussenbaan te bereiken.
- Herhaal deze meting twee keer.

2 Bepaal de gemiddelde tijd. Noteer deze in de tabel bij meting 1.

Meting 2
- Breng één gewichtje van het wagentje naar de gewichtendrager. De (totale) massa verandert niet, maar de voortstuwende kracht wel.

3 Noteer de massa van de gewichtendrager bij meting 2 in de tabel.

- Meet de tijd die het wagentje nodig heeft om van de startpositie naar het einde van de luchtkussenbaan te bewegen.
- Herhaal deze meting twee keer.

4 Bepaal de gemiddelde tijd. Noteer deze bij meting 2 in de tabel.

Meting 3
- Breng nog een gewichtje van het wagentje naar de gewichtendrager.

5 Noteer de massa van de gewichtendrager bij meting 3 in de tabel.

- Meet weer de tijd die het wagentje nodig heeft om van de startpositie naar het einde van de luchtkussenbaan te bewegen.
- Herhaal deze meting twee keer.

6 Bepaal de gemiddelde tijd. Noteer deze bij meting 3 in de tabel.

Uitwerken

7 Bereken de voortstuwende kracht bij elke meting met $F_z = m \cdot g$. Noteer de uitkomsten in de derde kolom van de tabel.

8 Bereken de gemiddelde snelheid bij elke meting. Noteer de uitkomsten in de zesde kolom van de tabel.

9 De eindsnelheid is 2× zo groot als de gemiddelde snelheid.
Bereken de eindsnelheid voor elke meting. Noteer de uitkomsten in de zevende kolom van de tabel.

10 Bereken de versnelling bij elke meting. Noteer de uitkomsten in de achtste kolom van de tabel.

11 Bekijk je resultaten. Wat kun je zeggen over het verband tussen de resulterende kracht en de versnelling? Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen.

....

....

....

....

Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

De volgende proeven staan in de online leeromgeving. Je docent beslist welke van deze proeven worden uitgevoerd.

PROEF 4 LUCHTWEERSTAND EN SNELHEID

45 minuten

Inleiding

Je onderzoekt hoe de luchtweerstandskracht afhangt van de snelheid van een voorwerp.

PROEF 5 VERTRAGING BIJ BOTSPROEVEN

20 minuten

Inleiding

Je meet de gemiddelde vertraging bij botsproeven met behulp van videometen.

Werken als verkeersmanager

Wachten voor een rood verkeerslicht. Rijden ... stilstaan ... rijden ... en weer stilstaan voor het volgende rode licht. Voor veel automobilisten is het rijden in een drukke stad een dagelijks terugkerende ergernis. “Als het een beetje tegenzit, sta je meer stil dan je rijdt!,” mopperen ze. Voor verkeersmanagers is onze irritatie juist een uitdaging: hoe kunnen we het verkeer beter laten doorstromen zonder dat de veiligheid achteruitgaat?

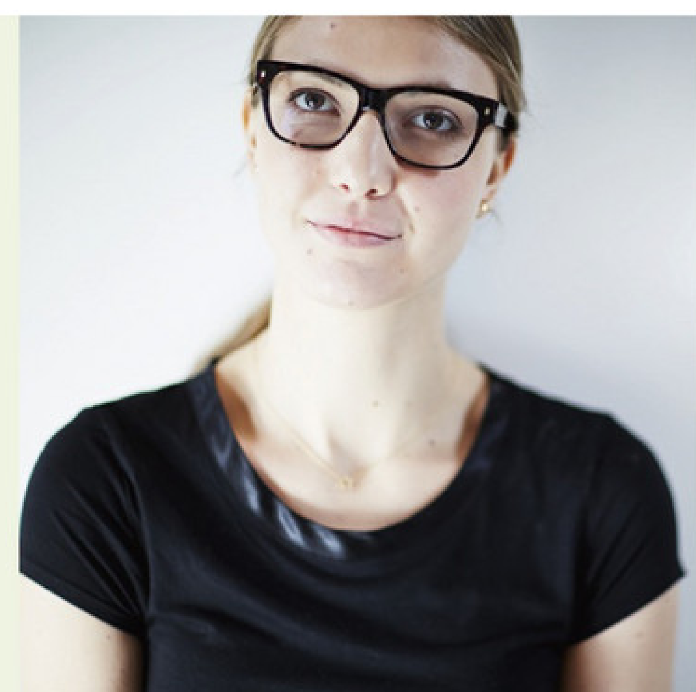
In een dichtbevolkt land zoals Nederland kan het verkeer gemakkelijk vastlopen. Vooral in de spits is de verkeersdruk enorm groot. Knelpunten in het wegennet leiden onvermijdelijk tot veel vertraging. Het is het werk van verkeersmanagers om daar slimme oplossingen voor te bedenken. Hoe efficiënter het verkeer wordt afgewikkeld, des te minder mensen hoeven te wachten.

Plannen om een weg of een kruispunt anders in te richten, hebben veel impact. Duizenden verkeersdeelnemers – soms nog veel meer – krijgen ermee te maken en bijna allemaal hebben ze er een mening over. Maar over de mensen die de plannen ontwikkelen, hoor je bijna nooit iets. Reden genoeg om eens met zo’n plannenmaker te gaan praten. Verkeersmanager Aymee Prinsen (26 jaar, figuur 1) vertelt ons over haar werk.

Hoe word je verkeersmanager?

“Ik heb verkeer altijd interessant gevonden. Al die mensen die zich elke dag opnieuw verplaatsen: hoe kun je dat nu zo goed mogelijk regelen? Puzzelen aan een probleem tot je de optimale oplossing te pakken hebt, dat vind ik gewoon leuk. Toen ik na de havo een vervolgopleiding moest kiezen, heb ik er niet lang over na hoeven te denken. Ik wist gewoon dat het iets met verkeer zou worden.

naam	Aymee Prinsen
leeftijd	26 jaar
opleiding	havo-profiel N+T
	hbo *Built Environment*: profiel verkeersmanager
functie	adviseur verkeersmanagement
plannen	over tien jaar een eigen adviesbureau beginnen



figuur 1 Verkeersmanager Aymee Prinsen.

“Op school mag je weleens een fout maken in een berekening, maar in de verkeerstechniek is dat niet zo.”

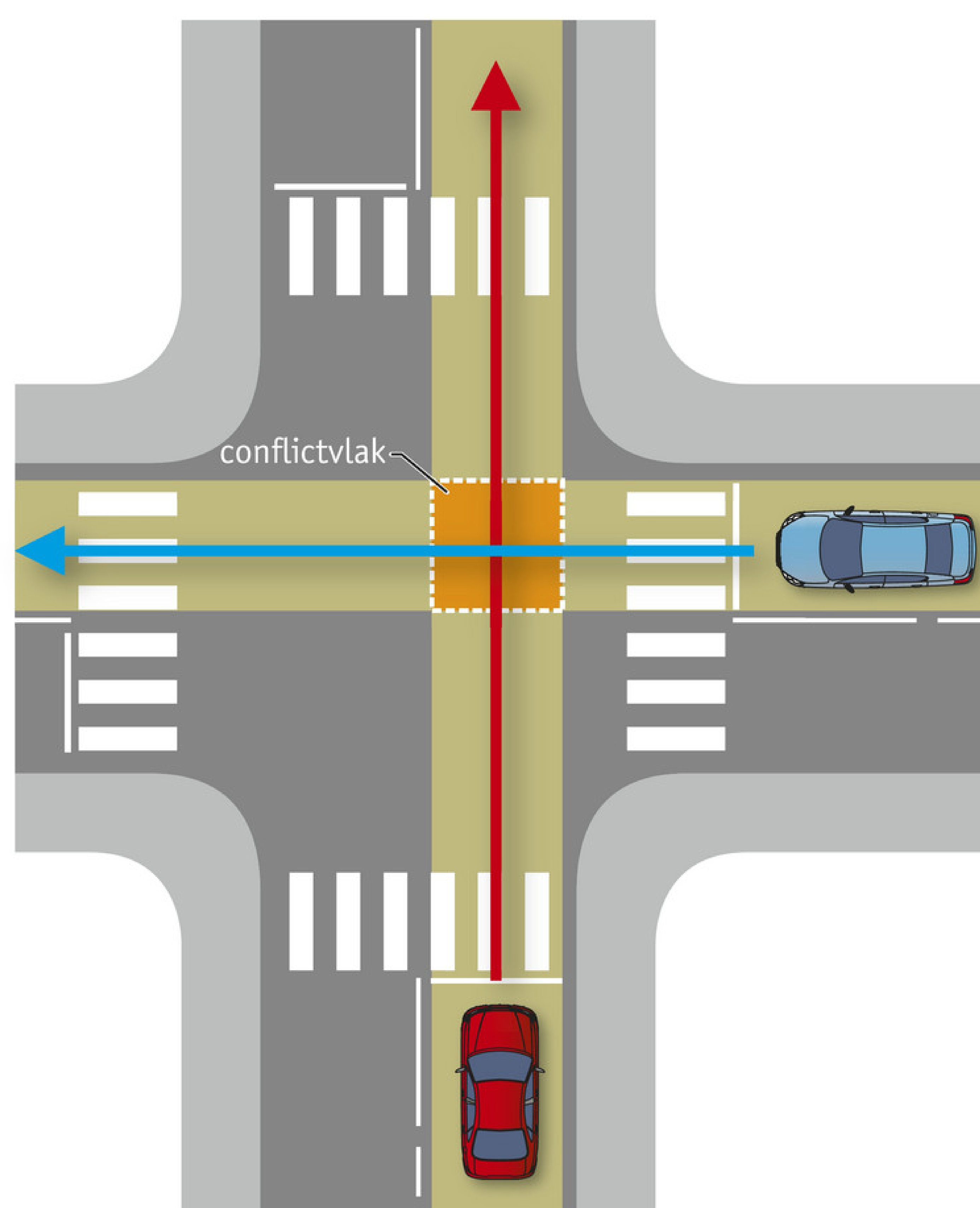
Na de havo heb ik de opleiding *Built Environment* aan het hbo gedaan. Je kon daar kiezen uit verschillende vakgebieden en uitstroomprofielen. Met mijn belangstelling voor verkeer kom je automatisch terecht bij het vakgebied mobiliteit. Ik heb het uitstroomprofiel verkeersmanager gekozen, omdat ik vooral in de techniek geïnteresseerd ben en ervan houd om concrete problemen op te lossen.
De opleiding was heel praktijkgericht. Je leert hoe je een veilige weg ontwerpt, kruispunten inricht en het verkeer in een stad in goede banen leidt. Je krijgt ook wel theorievakken, maar de meeste tijd ben je bezig met projecten. Dan werk je met een groepje studenten aan een opdracht voor een externe opdrachtgever, zoals een gemeente die de verkeersveiligheid op een kruispunt wil verbeteren.”

Wat houdt je werk zoal in?
“Na het hbo ben ik gaan werken als adviseur bij een middelgroot adviesbureau. Er werken ongeveer twintig mensen, waarvan vijf in de verkeerstechniek. Daar ben ik bezig met projecten zoals het optimaal inrichten van kruispunten met verkeerslichten.

Zo’n project begint ermee dat ik met een mogelijke opdrachtgever ga praten. Als ons bureau de opdracht krijgt, maak ik eerst een ontwerp. Ik reken bijvoorbeeld uit hoelang en in welke volgorde de verkeerslichten op groen moeten staan, en hoeveel tijd het verkeer daarna krijgt om het conflictvlak – zo noem je het gebied waar de verkeersstromen elkaar kruisen – leeg te maken (figuur 2).

Als het ontwerp af is, zet ik het om in een computerprogramma dat de verkeerslichten aan- en uitzet. Ik maak zo’n programma in Visual C – een computertaal – en test het met behulp van verkeerssimulatieprogramma’s.

Tijdens de installatie van de verkeerslichten houd ik toezicht namens de gemeente, om te zien of de plannen juist worden uitgevoerd. Als alles er staat en de programma’s zijn geïnstalleerd, wordt het systeem nog één keer getest. En dan komt ten slotte de opening. Dat is altijd spannend, want je wilt natuurlijk niet dat er dan nog iets fout gaat.”



figuur 2 Twee auto’s naderen een conflictvak.

Welke rol speelt natuurkunde in jouw vakgebied?
“Als een verkeerslicht op oranje springt, duurt het even voordat het conflictvlak leeg is en het verkeer uit een andere richting kan gaan rijden. Je noemt dat de ontruimingstijd. Als verkeerskundige moet je nogal eens de ontruimingstijd berekenen, omdat die voor ieder kruispunt en elk soort verkeersdeelnemer weer anders is.

Je berekent de ontruimingstijd met de bekende formules uit de natuurkunde over afstand en snelheid. Vaak gebruik ik een computer om dingen uit te rekenen, maar ik maak ook wel berekeningen op een stuk papier, met een rekenmachine. Dat is ook een manier om mezelf gerust te stellen dat alles klopt.

Op school mag je weleens een fout maken in een berekening, maar in de verkeerstechniek is dat niet zo. Als je een verkeerslicht te snel op groen laat springen, kan dat tot ongelukken leiden. Gelukkig vind je een fout meestal wel bij het testen, maar er blijft altijd een risico. Bovendien kost het herstellen van een fout in de software veel tijd en geld."

Zit er genoeg uitdaging in je werk?

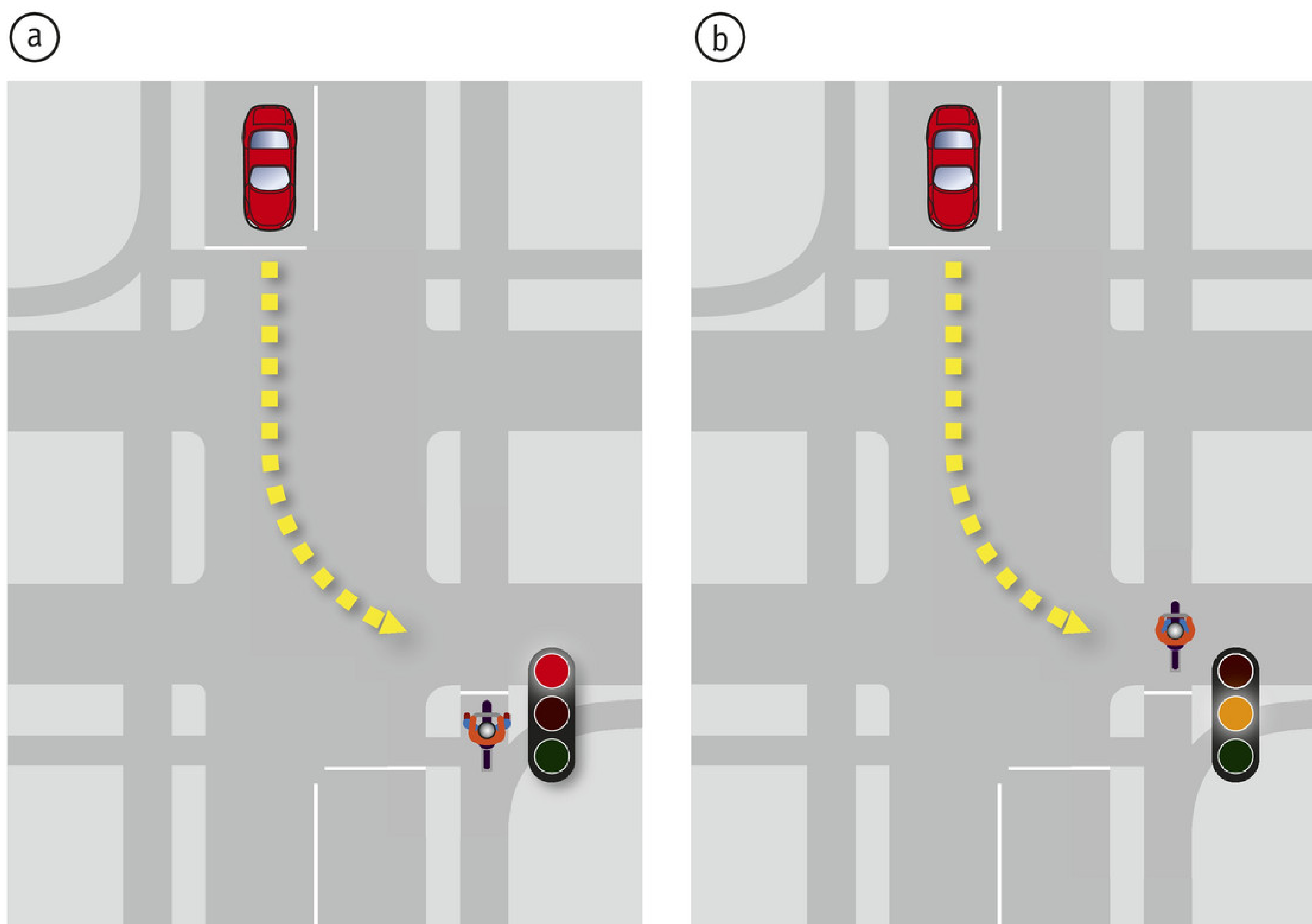
"O ja, absoluut. Net zoals elk bedrijf moeten ook wij voortdurend innoveren. De ideeën over doorstroming en veiligheid veranderen steeds en wij moeten daarin mee. Een leuk voorbeeld is de norm voor groen licht bij verkeerslichten. Ik heb in mijn opleiding bijvoorbeeld geleerd dat je nooit twee richtingen tegelijk groen licht mag geven: als de ene richting groen heeft, moet de kruisende richting rood krijgen.

Eigenlijk wist iedereen toen al dat die norm te streng is. Soms duurt het oprijden (van de stopstreep naar het conflictvlak) erg lang, terwijl het afrijden juist snel gaat. De ontruimingstijd is dan negatief: het conflictvlak is eerder leeg dan nodig is. Er is nu een gloednieuwe aanpak, intergroen, die deze extra tijd benut. Daarbij springen de lichten voor richting A al op groen, terwijl de lichten voor richting B nog even op groen blijven staan (figuur 3).

Intergroen scheelt per cyclus maar een paar seconden, maar over de hele dag gerekend tikt het lekker aan. Waarschijnlijk is intergroen ook goed voor de verkeersveiligheid, omdat er minder door rood wordt gereden. Daar wordt nu nog onderzoek naar gedaan. Hoe dan ook, als intergroen straks in heel Nederland toegepast mag worden, moeten wij daar als bureau klaar voor zijn. Want elke seconde die wij veilig van de wachttijd af kunnen halen, is winst."

Het effect van intergroen

In 2014 deed adviesbureau Grontmij samen met Rijkswaterstaat een onderzoek naar de effectiviteit van intergroen. De studie liet zien dat het aantal voertuigverliesuren op kruispunten door intergroen met gemiddeld 3,6% wordt teruggebracht. Dat zou voor heel Nederland een besparing van 4,9 miljoen voertuigverliesuren per jaar opleveren.



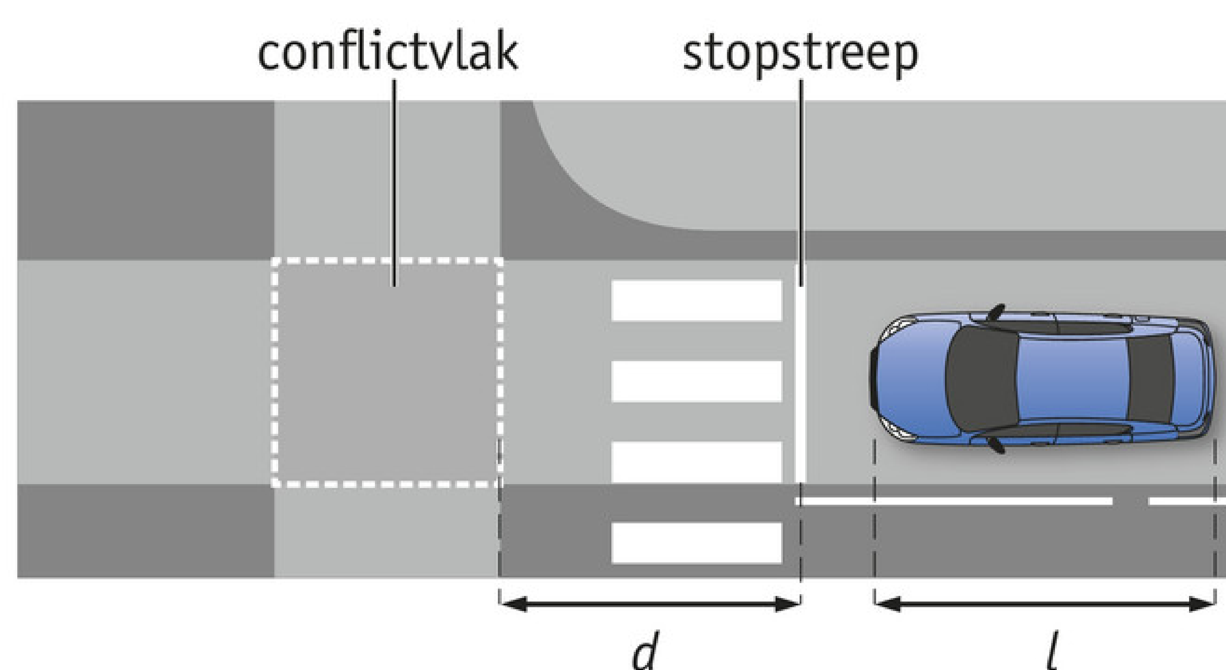
figuur 3 Onnodig wachten (a) of doorrijden met intergroen (b).

OPDRACHTEN

1 Als een verkeerslicht op rood springt, duurt het nog even voordat de laatste auto het conflictvlak heeft verlaten. De tijd die hiervoor nodig is, wordt de afrijtijd genoemd. De afrijtijd wordt berekend met de formule:

$$t_{af} = \frac{d + l}{v_{af}}$$

a Leg met behulp van figuur 4 uit wat de letters *d* en *l* betekenen.
b Leg uit waarom het noodzakelijk is om de *l* in de formule op te nemen.
c Hoe groot is de *l* voor een auto? En voor een bus? Maak een schatting.



figuur 4 Een auto nadert het conflictvlak.

2 Als een verkeerslicht op groen springt, duurt het nog even voordat de eerste auto het conflictvlak oprijdt. De tijd die hiervoor nodig is, wordt de oprijtijd genoemd. De oprijtijd wordt berekend met de formule:

$$t_{op} = \frac{d}{v_{op}}$$

a Wat betekent de snelheid v_{op}?
b Leg uit waarom *l* niet voorkomt in deze formule.

★ 3 Zoek op internet informatie over intergroen.
Schrijf een korte tekst (één A4) waarin je vertelt wat intergroen inhoudt en wat de voor- en nadelen zijn.
Je docent zal je vertellen hoe deze opdracht wordt nagekeken en beoordeeld.

Leerstofoverzicht

4.1 VOORTSTUWEN EN TEGENWERKEN

ONTHOUD

- De luchtweerstand is afhankelijk van de snelheid, de oppervlakte en de stroomlijn van een voorwerp. De rolweerstand is afhankelijk van de mate van vervorming van de banden en de ondergrond.
- De resultante op een voorwerp bepaal je door alle krachten bij elkaar op te tellen.
- Als er een resultante op een voorwerp werkt, dan zal dit voorwerp van snelheid of van richting veranderen.
- Als de resultante > 0 N, dan versnelt het voorwerp.
  Als de resultante = 0 N, dan verandert de snelheid van het voorwerp niet.
  Als de resultante < 0 N, dan vertraagt het voorwerp.

BEGRIPPEN

eerste wet van Newton
Een voorwerp waarop de resultante 0 N is, is in rust, of beweegt met constante snelheid langs een rechte lijn.

frontaal oppervlak
Het oppervlak van een voorwerp of persoon recht van voren gezien.

luchtweerstand
Een ander woord voor luchtweerstandskracht.

luchtweerstandskracht
Weerstandskracht die ontstaat doordat een bewegend voorwerp de lucht voor zich opzij moet duwen.

rolweerstand
Een ander woord voor rolweerstandskracht.

rolweerstandskracht
Weerstandskracht die ontstaat doordat een rollend voorwerp en de ondergrond tijdens de beweging beide vervormen.

4.2 VERSNELLEN EN VERTRAGEN

ONTHOUD

- Om een grafiek van een beweging in een (v,t)-diagram te maken, teken je de snelheid op ieder gemeten tijdstip als een punt. Vervolgens teken je een lijn of kromme die zo goed mogelijk bij de punten aansluit.
- In een (v,t)-diagram komt een stijgende rechte lijn overeen met een eenparige versnelling, een dalende rechte lijn met een eenparige vertraging en een horizontale rechte lijn met een eenparige beweging.
- Een eenparige versnelling geeft aan hoeveel de snelheid per seconde toeneemt.
- De versnelling bereken je met de formule: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
- Bij een versnelling is a een positief getal, bij een vertraging is a een negatief getal.
- Met behulp van een (v,t)-diagram bepaal je de afgelegde afstand door de oppervlakte onder de grafiek af te lezen.

BEGRIPPEN

eenparig versnelde beweging
Een beweging waarvan de snelheid gelijkmatig groter wordt.

eenparig vertraagd
Een beweging waarvan de snelheid gelijkmatig kleiner wordt.

eenparige beweging
Een beweging waarvan de snelheid constant blijft.

(snelheid,tijd)-diagram
Een grafiek waarin de snelheid is uitgezet tegen de tijd. Wordt ook (v,t)-diagram genoemd.

versnelde beweging
Een beweging waarvan de snelheid steeds groter wordt.

versnelling
De snelheidstoename per seconde.

vertraging
De snelheidsafname per seconde.

(v,t)-diagram
Een grafiek waarin de snelheid is uitgezet tegen de tijd. Wordt ook (snelheid,tijd)-diagram genoemd.

4.3 KRACHT, MASSA EN VERSNELLING

ONTHOUD

- Traagheid betekent dat een voorwerp niet van snelheid of van richting verandert, tenzij er een resultante op werkt.
- Voorwerpen met een grote massa hebben een grote traagheid.
- De kracht die nodig is om een voorwerp een bepaalde versnelling te geven bereken je met de formule: $F = m \cdot a$

BEGRIPPEN

traagheid
De mate waarin een voorwerp van snelheid of richting kan veranderen. Voorwerpen met een grote massa hebben een grote traagheid en kunnen minder gemakkelijk van snelheid en richting veranderen.

tweede wet van Newton
De formule $F = m \cdot a$.

4.4 REMMEN EN BOTSEN

ONTHOUD

- De stopafstand bereken je met de formule: *stopafstand* = *reactieafstand* + *remweg*
- De stopafstand kun je in een (v,t)-diagram bepalen door de oppervlakte onder de grafiek af te lezen.
- Met een kreukelzone, veiligheidsgordels, airbags en een valhelm verleng je de botsingstijd, waardoor de remmende krachten worden verkleind.
- Met een veiligheidsgordel en een valhelm vergroot je de oppervlakte, zodat de druk op het lichaam tijdens een botsing wordt verkleind.
- De druk bereken je met de formule: $p = \frac{F}{A}$

BEGRIPPEN

druk
De kracht die een voorwerp op de ondergrond per oppervlakte-eenheid uitoefent.

kreukelzone
Het gedeelte aan de voor- en achterkant van een auto dat zo is gemaakt dat het bij een botsing in elkaar schuift.

reactieafstand
De afstand die een voertuig tijdens de reactietijd aflegt.

reactietijd
De tijd tussen het zien van een gevaar en het in werking treden van de remmen.

remweg
De afstand die een voertuig tijdens het remmen aflegt.

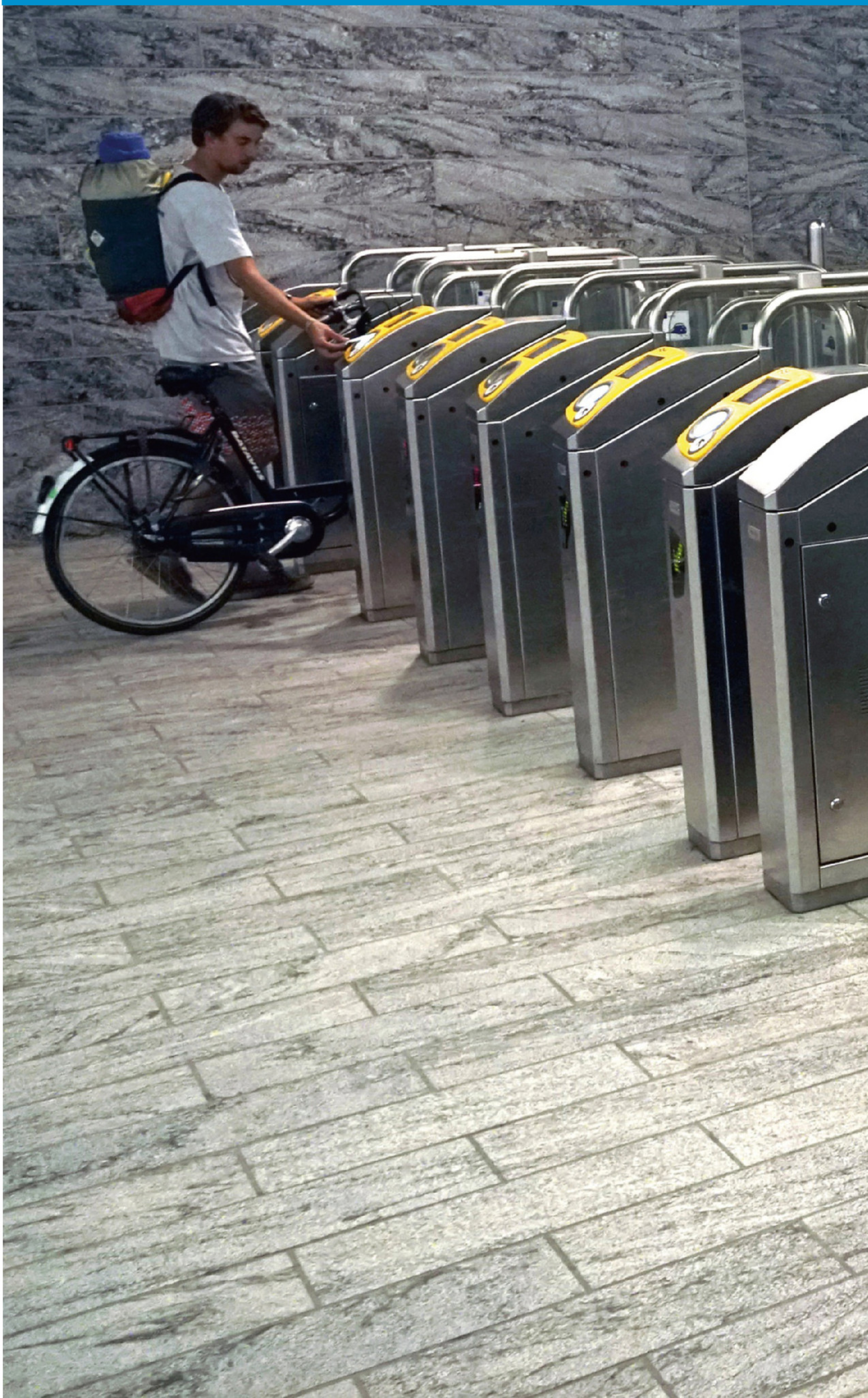


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

5 Schakelingen

AUTOMATISCH REGELEN

In veel apparaten zit een schakeling die iets kan detecteren en daarop kan reageren. Dankzij die schakeling kan een apparaat zelfstandig taken uitvoeren zoals stationspoortjes openen, frisdrank verkopen, alarm slaan, de temperatuur regelen en een lamp aandoen.




8
8
7
THALES

Wat weet je al over schakelingen?

LEERDOELEN

1 Je kent de symbolen die je gebruikt om een schakelschema te maken.
2 Je kunt enkele toepassingen geven van infrarode straling.
3 Je kunt uitleggen wat spanning en stroomsterkte zijn en hoe je deze grootheden meet.
4 Je kunt het verschil tussen een parallelschakeling en een serieschakeling uitleggen.

In deel 1-2 van Nova nask en in hoofdstuk 1 van dit leerjaar heb je al een aantal dingen geleerd over elektriciteit. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

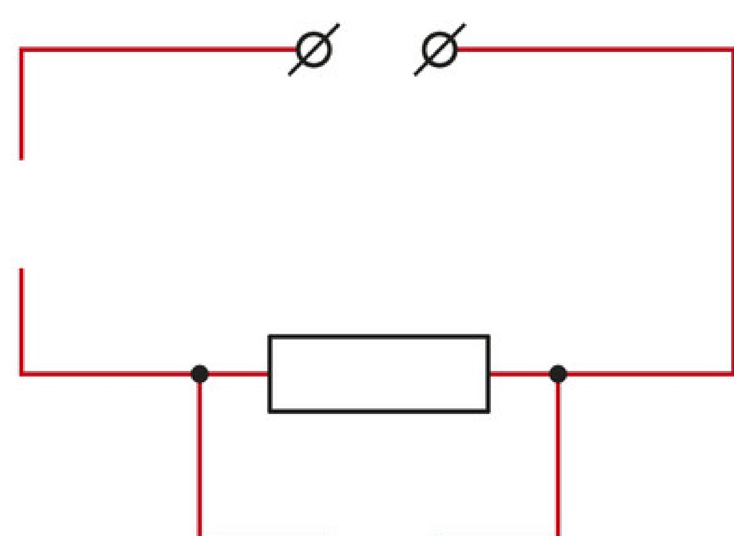
OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Koppel de juiste component aan elk symbool.

A	⊗	○	○ 1	batterij
B	(led-symbool)	○	○ 2	lampje
C	Ⓐ	○	○ 3	led
D	Ⓥ	○	○ 4	schakelaar
E	open / dicht	○	○ 5	spanningsmeter
F	(batterij-symbool)	○	○ 6	stroommeter

2 Onderstreep de soorten straling die het menselijk oog kan waarnemen.
ir-straling – licht – uv-straling

3 Je kunt de spanning over een draad meten met een spanningsmeter en de stroomsterkte door een draad met een stroommeter.
Teken in figuur 1 de symbolen voor de beide meters op de juiste plaats.



figuur 1 Spanningsmeter en stroommeter in een schakeling.

4 In een parallelschakeling verdeelt de *spanning* / *stroomsterkte* zich over alle vertakkingen. De *spanning* / *stroomsterkte* is bij deze schakeling gelijk voor alle vertakkingen. In een serieschakeling is de *spanning* / *stroomsterkte* door de gehele schakeling gelijk. Hier verdeelt de *spanning* / *stroomsterkte* zich over de verschillende schakelcomponenten.



Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk. Of scan de QR-code om direct naar een filmpje te gaan:



Spanning en stroomsterkte



Schakelingen

1 Lading en spanning

LEERDOELEN

5.1.1 Je kunt uitleggen hoe een voorwerp elektrisch geladen kan worden.
5.1.2 Je kunt kenmerken van positieve en negatieve lading benoemen.
5.1.3 Je kunt uitleggen hoe een geladen voorwerp ontladen kan worden.
5.1.4 Je kunt een aantal spanningsbronnen benoemen.
PLUS 5.1.5 Je kunt het begrip elementaire lading toepassen in berekeningen.

Als je op een droge winterdag een fleecetrui uittrekt, hoor je een zacht geknetter. In het donker kun je zelfs vonkjes zien overspringen. Die vonkjes zijn ontladingen van statische elektriciteit: ongevaarlijk onder normale omstandigheden, maar niet echt aangenaam als de stroom via je lichaam loopt.

VOORWERPEN OPLADEN

Als je met een wollen doek over een pvc-buis wrijft, trekt de buis daarna papieren snippers aan. Ook een dun waterstraaltje wordt door de buis aangetrokken. Je zegt dat de pvc-buis door het wrijven **elektrisch geladen** of **statisch** is geworden.

Dat een voorwerp geladen is, merk je op verschillende manieren:

- Het voorwerp trekt andere voorwerpen aan (figuur 1). Dat kun je bijvoorbeeld zien doordat er zich veel stof op het voorwerp verzamelt.
- Er kunnen vonkjes overspringen naar andere voorwerpen. Dat kun je horen als een zacht geknetter en soms ook zien of voelen.



figuur 1 Polystyreen balletjes worden aangetrokken door een kam die door wrijving geladen is.

Een geladen voorwerp is zijn lading meestal snel weer kwijt. Hoe meer waterdamp er in de lucht zit, des te sneller ontlaadt het voorwerp weer. Proeven met geladen voorwerpen lukken daardoor het best als de lucht erg droog is. Als het buiten vriest – bij vriesweer is sprake van droge lucht – en de verwarming flink hoog staat, zijn de omstandigheden ideaal. In vochtige lucht is de lading te vlug verdwenen.

POSITIEVE EN NEGATIEVE LADING

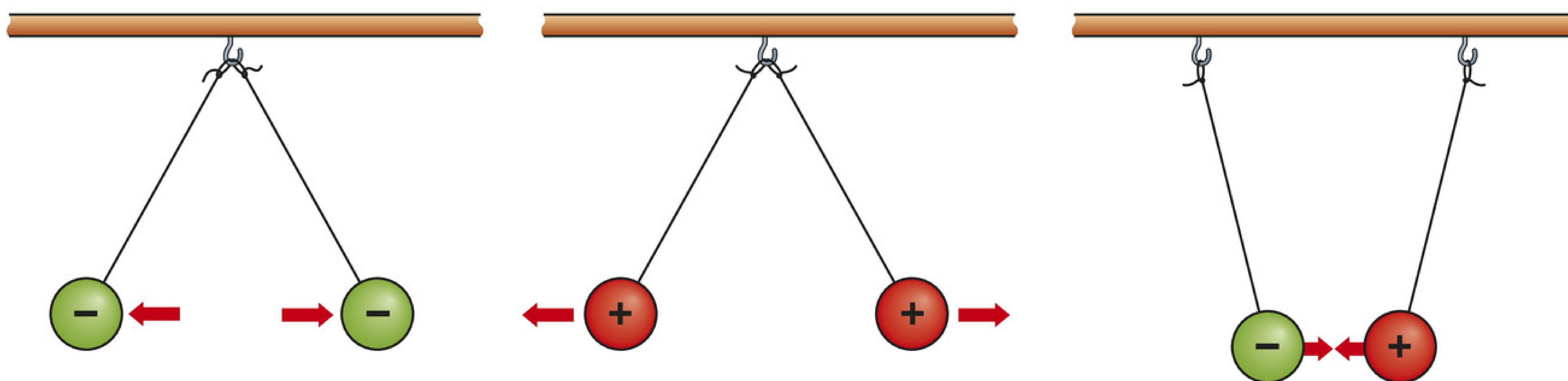
Als je met een zijden doek flink over een perspex staaf wrijft, wordt de staaf geladen. Hetzelfde gebeurt als je met een wollen doek over een pvc-buis wrijft. Toch is er een verschil tussen de lading die beide voorwerpen hebben gekregen. Twee geladen perspex staven stoten elkaar af. Hetzelfde geldt voor twee geladen pvc-buizen. Maar een geladen perspex staaf en een geladen pvc-buis trekken elkaar aan.

Je kunt deze proeven herhalen met voorwerpen en doeken die van allerlei verschillende stoffen zijn gemaakt. Je merkt dan dat er twee soorten **lading** bestaan. Voorwerpen met dezelfde lading stoten elkaar af (figuur 2). Voorwerpen met een verschillende lading trekken elkaar aan.



figuur 2 Dit gebeurt er met je haren als ze dezelfde lading krijgen.

De ene soort lading noem je **positief** of plus, de andere soort noem je **negatief** of min. Een perspex staaf die met een zijden doek is gewreven, heeft een positieve lading. Een pvc-buis die met een wollen doek is gewreven, heeft een negatieve lading. Plus en plus stoten elkaar af, net als min en min, maar plus en min trekken elkaar aan (figuur 3).

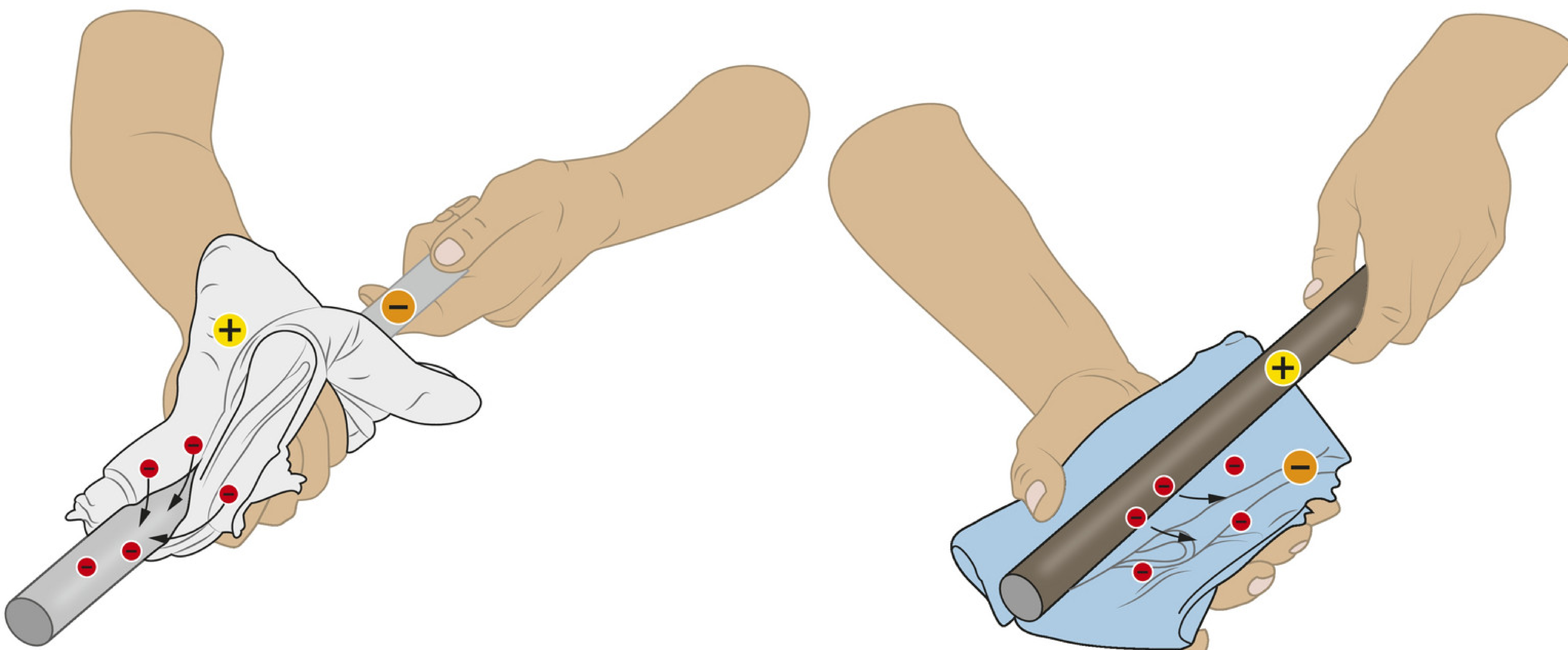


figuur 3 Afstoten en aantrekken.

ELEKTRONEN

Een niet-geladen voorwerp bevat precies evenveel positieve als negatieve lading. Daardoor merk je niet dat zo'n voorwerp lading bevat. In dat geval zeg je dat het voorwerp **neutraal** is.

Als je met een doek over een voorwerp wrijft, kunnen er kleine, negatief geladen deeltjes 'overspringen': van de doek naar het voorwerp of omgekeerd. Deze deeltjes heten **elektronen** (figuur 4). Er bestaan ook positieve deeltjes, maar die kunnen niet van het ene naar het andere voorwerp bewegen. Bij het wrijven van het voorwerp verplaats je dus altijd negatieve lading en nooit positieve lading.

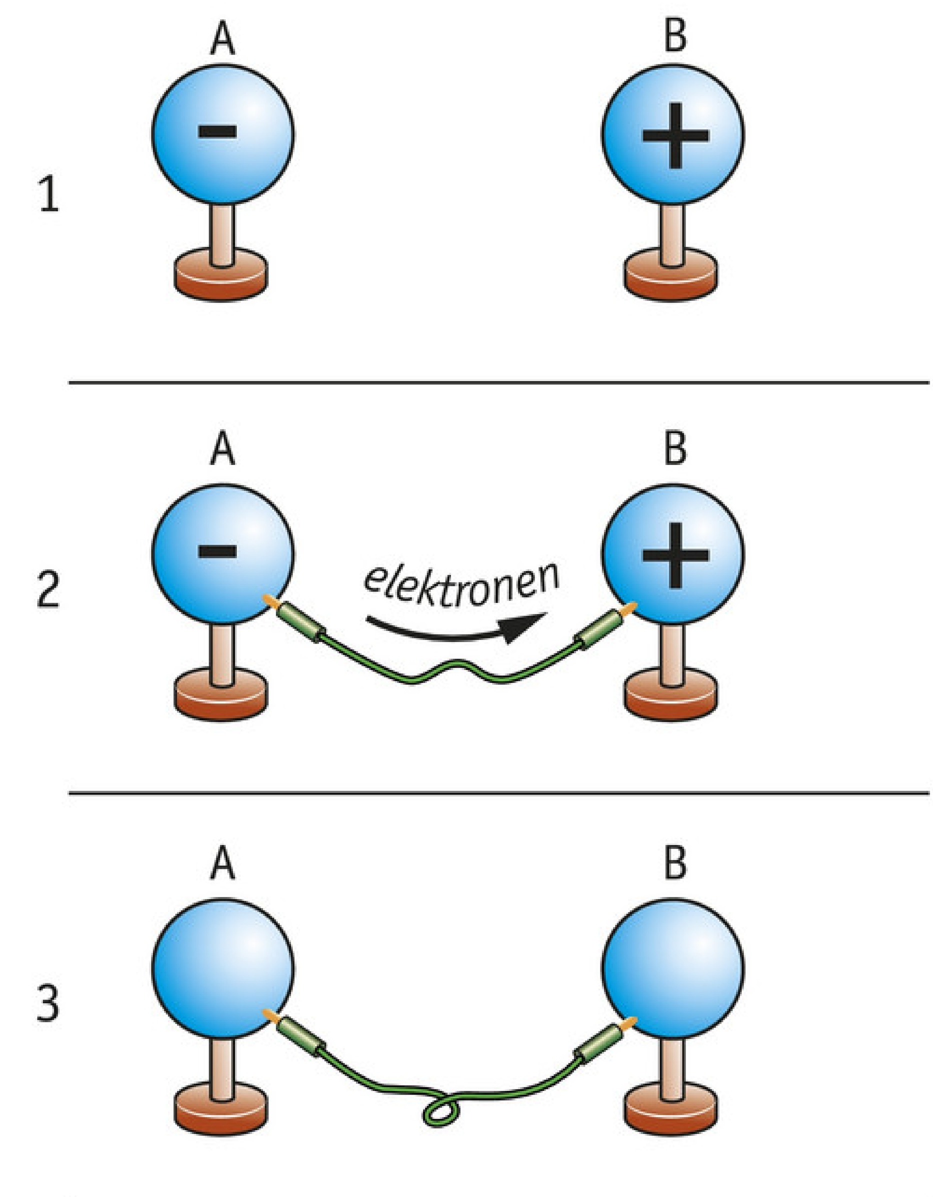


figuur 4 Bij wrijven verplaatsen elektronen zich.

Als de elektronen van de doek naar het voorwerp overspringen, heeft het voorwerp daarna meer negatieve dan positieve lading: het is dan in totaal negatief geladen. De doek is juist elektronen kwijtgeraakt en heeft daardoor een even grote, positieve lading gekregen. Als de elektronen van het voorwerp naar de doek overspringen, gebeurt het omgekeerde. In dat geval wordt de doek negatief geladen en het voorwerp positief.

SPANNING EN ELEKTRONEN

In figuur 5 zie je twee even grote metalen bollen op een plastic voet. Bol A is negatief geladen, bol B is positief geladen. In zo'n geval zeg je dat er tussen A en B een **spanning** bestaat. Zodra je tussen A en B een geleidende verbinding maakt, gaan er elektronen bewegen van A naar B. Er loopt dan een elektrische stroom.



figuur 5 Elektronen bewegen van min naar plus.

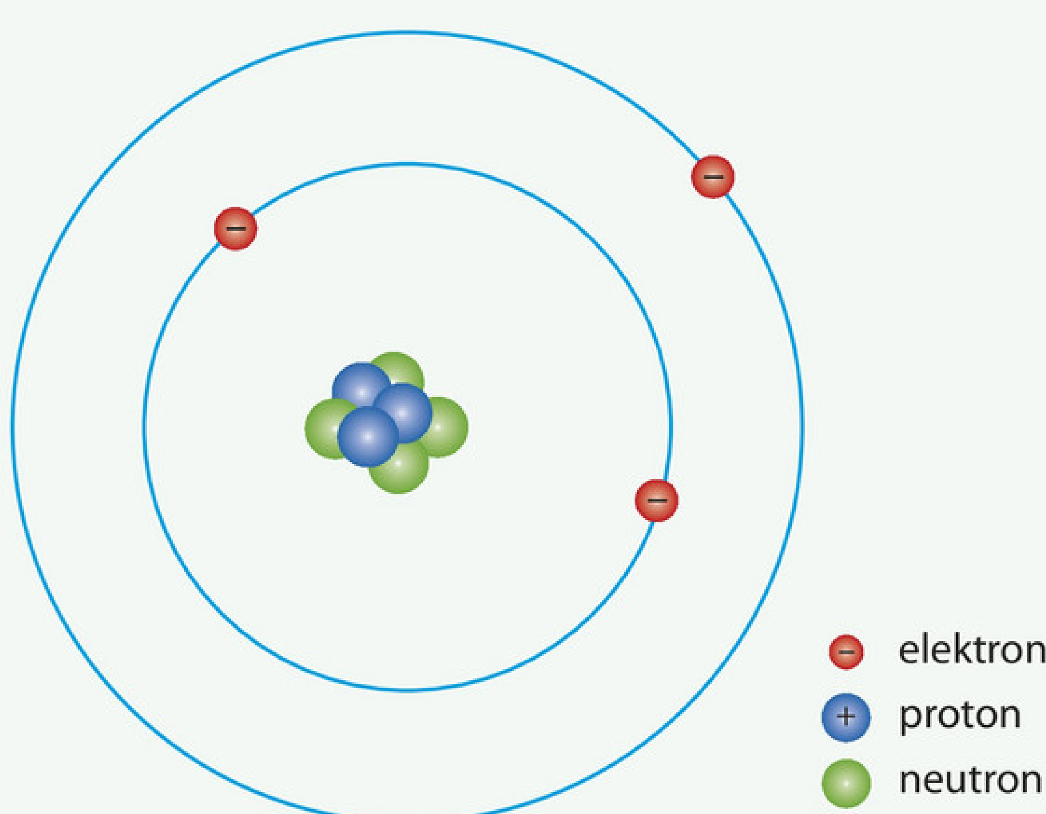
De stroom tussen A en B loopt maar heel even. Dat komt doordat er tussen A en B al heel snel geen spanning meer bestaat; de beide bollen hebben dan dezelfde lading gekregen. Een geladen voorwerp kan ook ontladen doordat er een vonk overspringt naar iets of iemand anders. Ook dat duurt maar heel kort: het geladen voorwerp raakt in een fractie van een seconde zijn lading kwijt.

Als er tussen geladen voorwerpen en hun omgeving een hoge spanning bestaat, kunnen er vonken overspringen. Aan de buitenkant van een auto kan zich tijdens het rijden bijvoorbeeld een spanning opbouwen van wel 3000 V. Als je uitstapt, merk je dat: je voelt een schok als de auto zich via je lichaam ontlaadt. Zo'n schok is niet gevaarlijk, omdat er maar een kleine stroom heel kort door je lichaam loopt.

Een spanningsbron zorgt ervoor dat er een lange tijd een stroom kan lopen. Daarom gebruik je in het dagelijkse leven dynamo's, accu's en batterijen in plaats van door wrijving geladen voorwerpen.

PLUS DE ELEMENTAIRE LADING

In figuur 6 zie je een vereenvoudigde weergave van een lithiumatoom. Zoals elk atoom bestaat het lithiumatoom uit een positief geladen kern met daaromheen een wolk van negatief geladen elektronen. De kern is opgebouwd uit protonen en neutronen. In tabel 1 staan enkele eigenschappen van deze deeltjes.



figuur 6 Een model van een lithiumatoom (atoomnummer 3).

Een atoom heeft evenveel protonen als elektronen. Daardoor is een atoom als geheel elektrisch neutraal. Zoals je ziet in tabel 1 wordt de lading gemeten in de eenheid coulomb (afgekort C). In 1 coulomb past de lading van veel elektronen, want de lading van een elektron is erg klein: $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Deze lading is negatief. Toch zeg je vaak dat de *grootte* van de lading $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C is. Dit is de kleinste lading die in de natuur voorkomt. Je noemt deze lading de **elementaire lading**.

tabel 1 Enkele eigenschappen van de deeltjes in een atoom.

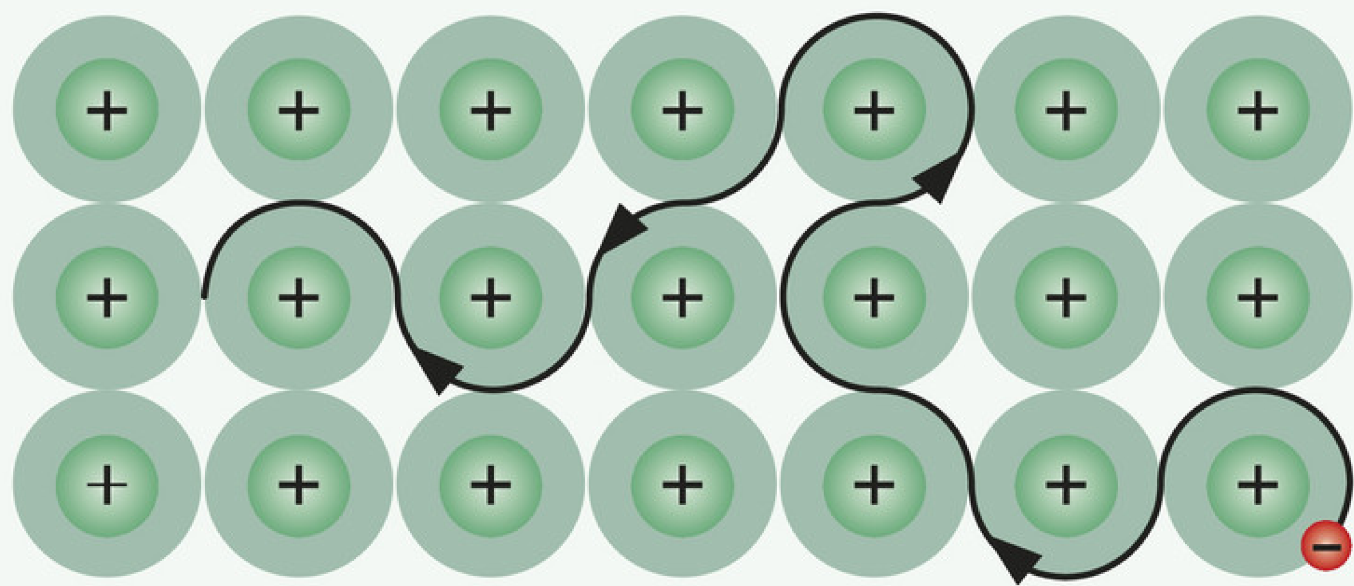
deeltje	lading (coulomb)	massa (kg)
proton	$+1{,}6 \cdot 10^{-19}$	$1{,}7 \cdot 10^{-27}$
neutron	0	$1{,}7 \cdot 10^{-27}$
elektron	$-1{,}6 \cdot 10^{-19}$	$9{,}1 \cdot 10^{-31}$

In een metalen geleider kunnen de buitenste elektronen van een atoom zich gemakkelijk van het ene naar het andere atoom verplaatsen (figuur 7). Deze elektronen noem je dan ook **vrije elektronen**. Als je een batterij aansluit op een metalen geleider gaan de vrije elektronen in één richting bewegen: er loopt een stroom. Een elektrische stroom is dan ook de lading die per seconde op een punt door een draad stroomt:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Hierin is:

- I de stroomsterkte in ampère (A);
- Q de lading in coulomb (C);
- t de tijd in seconde (s).



figuur 7 Zo bewegen vrije elektronen door een metaalrooster.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Door een bliksemafleider loopt bij een inslag gedurende één duizendste seconde (0,001 s) een lading van 30 coulomb. Bereken de stroomsterkte door de bliksemafleider.

gegevens $Q = 30$ C
$t = 0{,}001$ s

gevraagd $I = ?$

uitwerking $I = \frac{30}{0{,}001} = 30 \cdot 10^3$ C/s $= 30 \cdot 10^3$ A

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Je kunt een pvc-buis negatief laden door er met een wollen doek over te wrijven.

a De deeltjes die hierbij van het ene naar het andere voorwerp 'overspringen'

heten ....

b Deze deeltjes gaan *van de buis naar de doek / van de doek naar de buis*.

c De wollen doek krijgt daardoor een .... lading.

2 Beantwoord de volgende vragen.

a Waaraan kun je merken dat een voorwerp elektrisch geladen (statisch) is?

b Waarom mislukken proeven met geladen voorwerpen vaak bij regenweer?

c Wat weet je over de hoeveelheid lading in een voorwerp dat neutraal is?

d Hoe komt het dat je soms een schok voelt als je na een rit uit de auto stapt?

TOEPASSING

3 Bij helder vriesweer is de luchtvochtigheid laag. Je kunt dan goed merken dat voorwerpen door wrijving elektrisch geladen worden.
Op welke manier(en) kun je merken:

a dat je haar en kam geladen worden als je je haar kamt?

b dat een fleecetrui geladen wordt als je hem over je hoofd uittrekt?

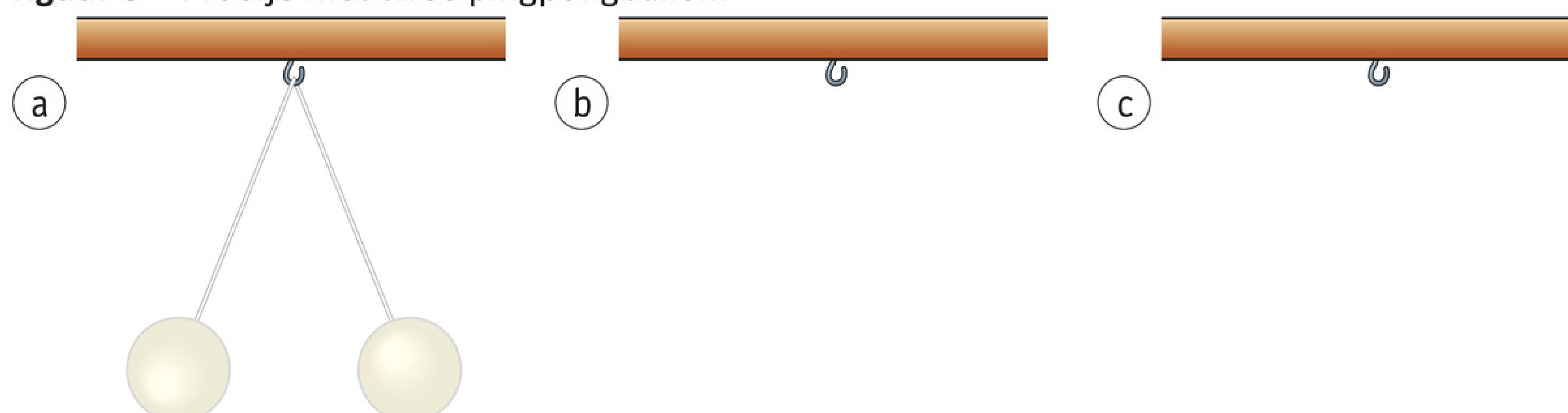
c dat een strook plakband geladen wordt als je hem lostrekt van de rol?

4 Kevin doet een proefje waarbij hij twee pingpongballen ophangt aan een nylondraad.
Even later hangen de pingpongballen stil (figuur 8a).
Kevin zegt: "De twee ballen zijn op dezelfde manier geladen."
Dennis zegt: "De ene bal is geladen, de andere niet."
Peter zegt: "De twee ballen zijn helemaal niet geladen."

a Wie heeft er gelijk en waarom?

b Teken in figuur 8b en 8c wat je in de andere twee gevallen zou zien. Noteer welke jongen deze situatie heeft beschreven. Verklaar je antwoord.

figuur 8 Proefje met twee pingpongballen.



5 Tijdens een vlucht kan een vliegtuig geladen worden door wrijving met de lucht.

a Leg uit waarom die elektrische lading een risico kan vormen als het vliegtuig na de landing wordt bijgetankt.

b Waarom is de kans op een ongeluk het grootst in de winter, vooral als het op de luchthaven stevig vriest?

c Leg uit waarom je het vliegtuig voor het tanken eerst via een metalen 'aardekabel' met de tankauto moet verbinden (figuur 9).

d Waarom moeten de klemmen van de 'aardekabel' goed contact maken met het metalen frame van het vliegtuig?

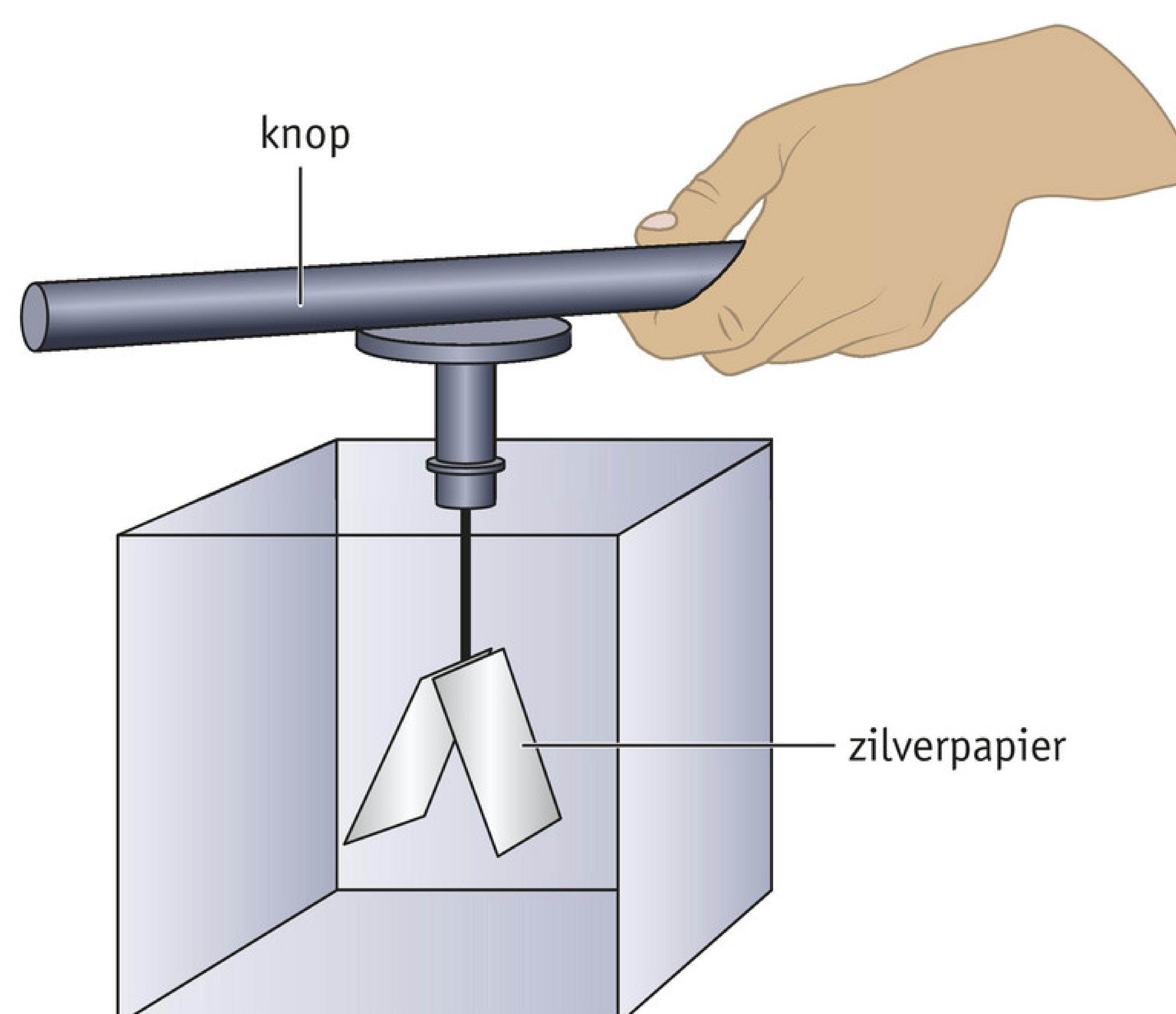


figuur 9 De chauffeur van een tankauto rolt de aardkabel af.

6 In figuur 10 zie je een elektroscoop. Met dit apparaat kun je nagaan of een voorwerp is geladen. Als je met een geladen voorwerp de knop aanraakt, bewegen de twee blaadjes zilverpapier bij elkaar vandaan.

a Leg uit hoe dat komt.

b Leg uit of je aan de uitslag van de elektroscoop kunt zien of deze positief of negatief is geladen.



figuur 10 Een elektroscoop.

7 Marieke verbindt de knop van een positief geladen elektroscoop A via een geleidende draad met een even sterk negatief geladen elektroscoop B.

a Wat gebeurt er met de uitslag van beide elektroscopen?

b Beschrijf wat er is gebeurd na het verbinden van beide elektroscopen.

★ 8 Vivek leest op de website van een bedrijf dat poedercoaten steeds populairder wordt als alternatief voor het verven van metalen onderdelen (figuur 11).

a Leg uit waarom de onderdelen die van een coating worden voorzien, vooraf eerst worden geaard.

b Waarom is het belangrijk dat elk poederdeeltje van de coating een negatieve lading krijgt?

c Leg uit waarom je met poedercoating een betere dekking krijgt op ‘moeilijke plekken’ dan met gewone verf.

In toenemende mate kiezen bedrijven voor het poedercoaten als oppervlaktebehandeling. Met poedercoaten worden betere resultaten behaald dan met de conventionele oppervlaktebehandelingsmethoden zoals verven. Met poedercoaten liggen onder andere de dekking, afwerking en glans op een hoger niveau.



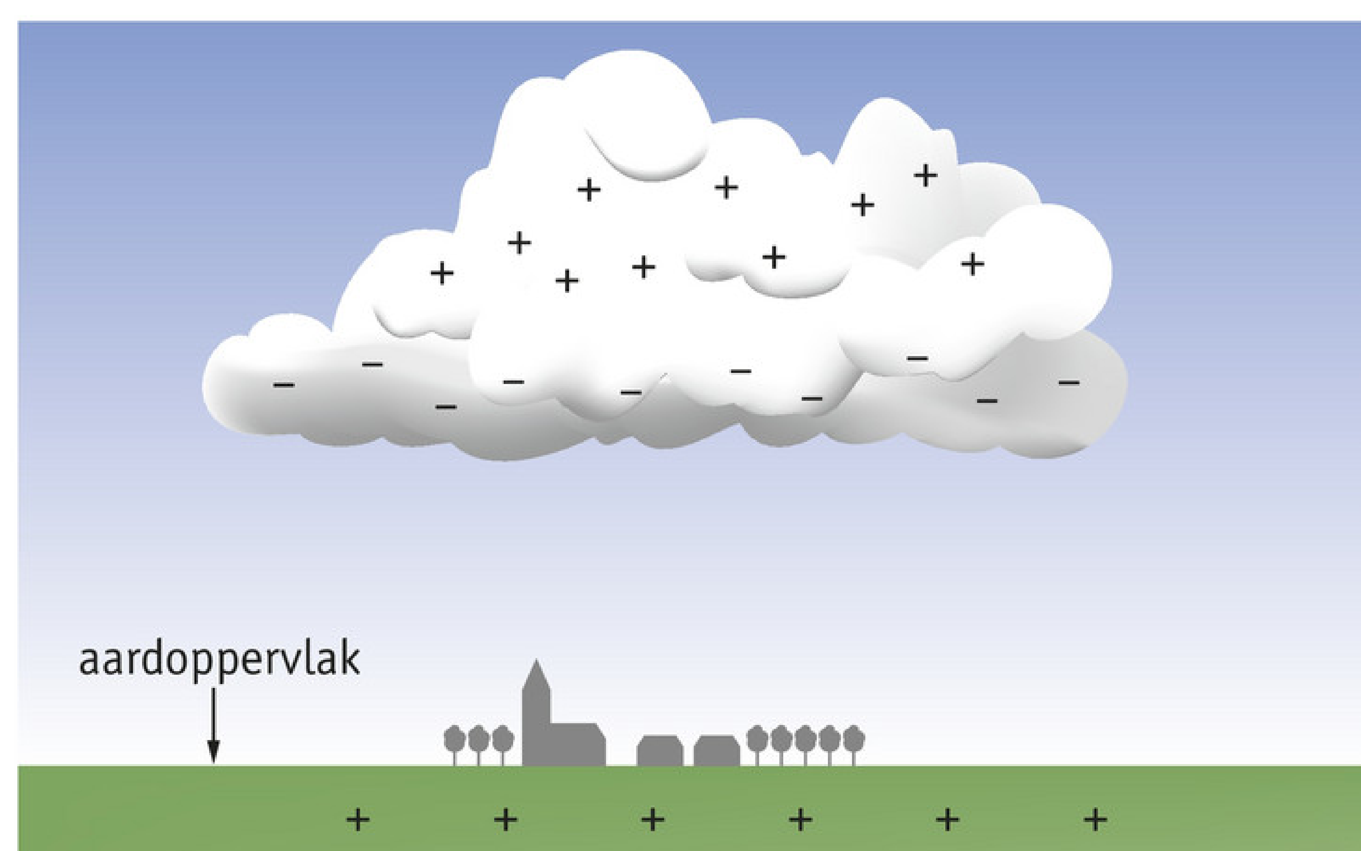
Poedercoaten is een elektrostatisch proces. De poederlakdeeltjes worden negatief geladen. Hierdoor worden alle randen en slecht bereikbare delen van poeder voorzien.

figuur 11 Het poedercoaten van metalen onderdelen.

★ 9 Tussen de onderkant van een onweerswolk en de aarde bestaat een groot spanningsverschil.

a Geef twee redenen waarom de combinatie onweerswolk-aarde geen geschikte spanningsbron is voor praktische toepassingen in bijvoorbeeld elektrische apparaten.

b De bovenkant van een onweerswolk is positief geladen en de onderkant negatief (figuur 12).
Leg uit waardoor het aardoppervlak onder de wolk positief wordt geladen.



figuur 12 De verdeling van ladingen in een onweerswolk.

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE ELEMENTAIRE LADING

10 Ionen zijn geladen atomen die een overschot of een tekort aan elektronen hebben. Er bestaan verschillende koper-ionen, waaronder het ion Cu^{2+}.

a Leg uit of dit koper-ion een tekort of juist een overschot aan elektronen heeft.

b Bereken de grootte van de lading van het koper-ion Cu^{2+}.

c In een koperen bolletje zitten vrije elektronen in het metaalrooster van koperatomen. In het bolletje bevinden zich $4{,}0 \cdot 10^{24}$ koperatomen met elk twee vrije elektronen. Esther geeft het (geïsoleerde) bolletje een lading van +3,0 mC. Bereken hoeveel procent van de aanwezige vrije elektronen van de bol zijn verdwenen.

11

a Bereken de stroomsterkte in een draad als er door een punt van die draad 72 C in 1 uur passeert.

b Bereken hoeveel elektronen voorbij het punt zijn gekomen als er 72 C is gepasseerd.

c Op een oplaadbare batterij staat: capaciteit: 2400 mAh. Dit betekent dat de batterij gedurende 1 uur 2400 mA kan leveren, of bijvoorbeeld 4800 mA gedurende een half uur. Daarna is de batterij leeg. De spanning van de batterij is 1,5 V. Een fietslampje met een vermogen van 1,8 W wordt aangesloten op de batterij. Bereken hoeveel elektronen het lampje passeren totdat de batterij leeg is.

2 Weerstand

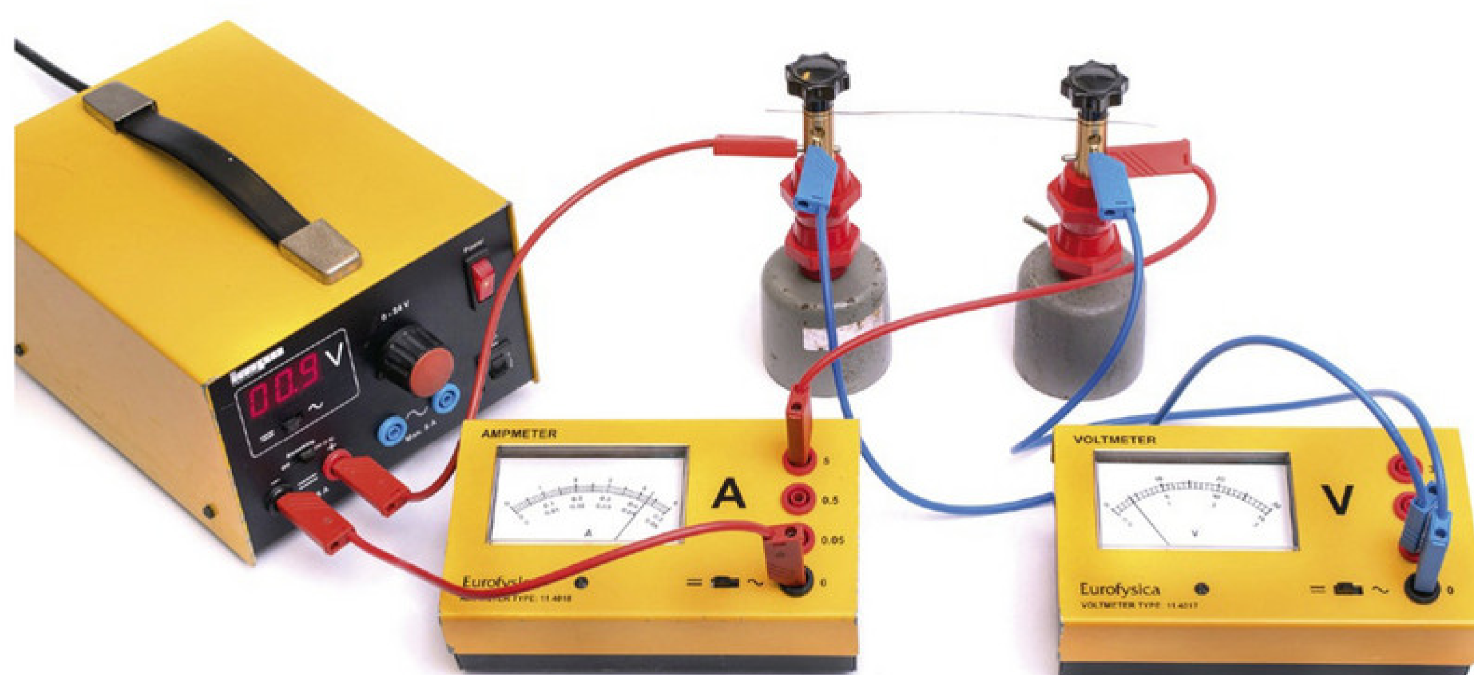
LEERDOELEN

5.2.1 Je kunt uitleggen hoe je de weerstand van een draad bepaalt.
5.2.2 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen weerstand, spanning en stroomsterkte.
5.2.3 Je kunt uitleggen wanneer voor een component de wet van Ohm geldt.
5.2.4 Je kunt de verandering van de weerstand van een NTC bij veranderende temperatuur benoemen.
5.2.5 Je kunt de verandering van de weerstand van een LDR bij veranderende lichtsterkte benoemen.
PLUS 5.2.6 Je kunt de weerstand van een draad berekenen.

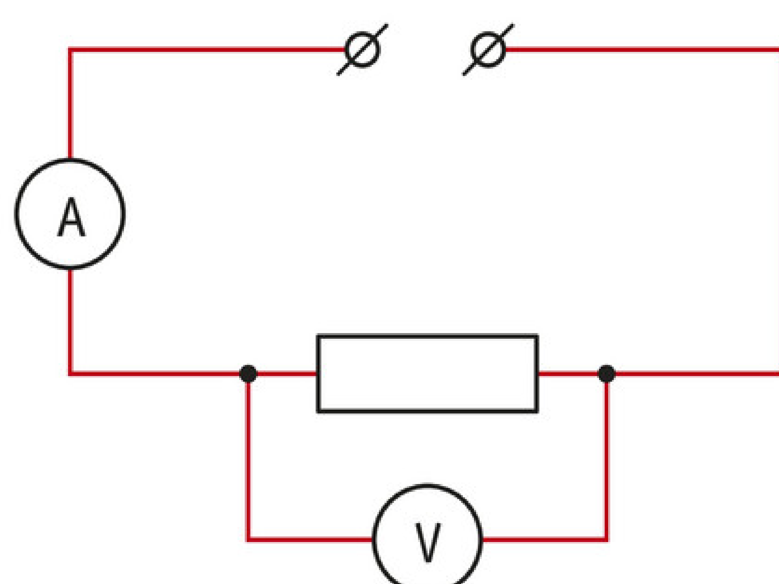
In huis heb je allerlei apparaten die op de netspanning van 230 V werken. De hoeveelheid stroom die door die apparaten loopt, kan heel verschillend zijn. De stroomsterkte door een wasdroger is bijvoorbeeld veel groter dan de stroomsterkte door een lamp. Blijkbaar ondervindt de stroom elektronen in de wasdroger minder weerstand.

DE WEERSTAND BEPALEN

Met de opstelling in figuur 1 kun je het verband meten tussen de spanning *over* een draad en de stroom *door* een draad. Met 'de spanning over een draad' wordt de spanning tussen de beide uiteinden van de draad bedoeld. In figuur 2 staat het schema van de schakeling.



figuur 1 Zo bepaal je de weerstand van een draad.



figuur 2 Het schakelschema van de schakeling in figuur 1.

Als je deze proef uitvoert met verschillende draden merk je dat de verschillen groot zijn. Bij sommige draden is er een grote spanning nodig om een klein stroompje door de draad te 'persen'. Zo'n draad heeft een grote **weerstand**: de stroom gaat er moeilijk doorheen. Er zijn ook draden waarbij een kleine spanning al een flinke stroomsterkte oplevert. Zo'n draad heeft een kleine weerstand: de stroom gaat er gemakkelijk doorheen.

Je kunt de weerstand van een schakelonderdeel dus definiëren met behulp van de spanning (*over* het onderdeel) en de stroomsterkte (*door* het onderdeel). Volgens die definitie is de weerstand gelijk aan de spanning gedeeld door de stroomsterkte. Zo vind je een bruikbare getalswaarde voor de weerstand. In formulevorm:

$$R = \frac{U}{I}$$

Hierin is:
- R de weerstand in ohm (Ω);
- U de spanning in volt (V);
- I de stroomsterkte in ampère (A).

De eenheid voor weerstand is genoemd naar de Duitse natuurkundige Georg Simon Ohm.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Op de verpakking van een ledlampje staat: 12 V/100 mA.
Bereken hoe groot de weerstand van het lampje is als het op de juiste spanning brandt.

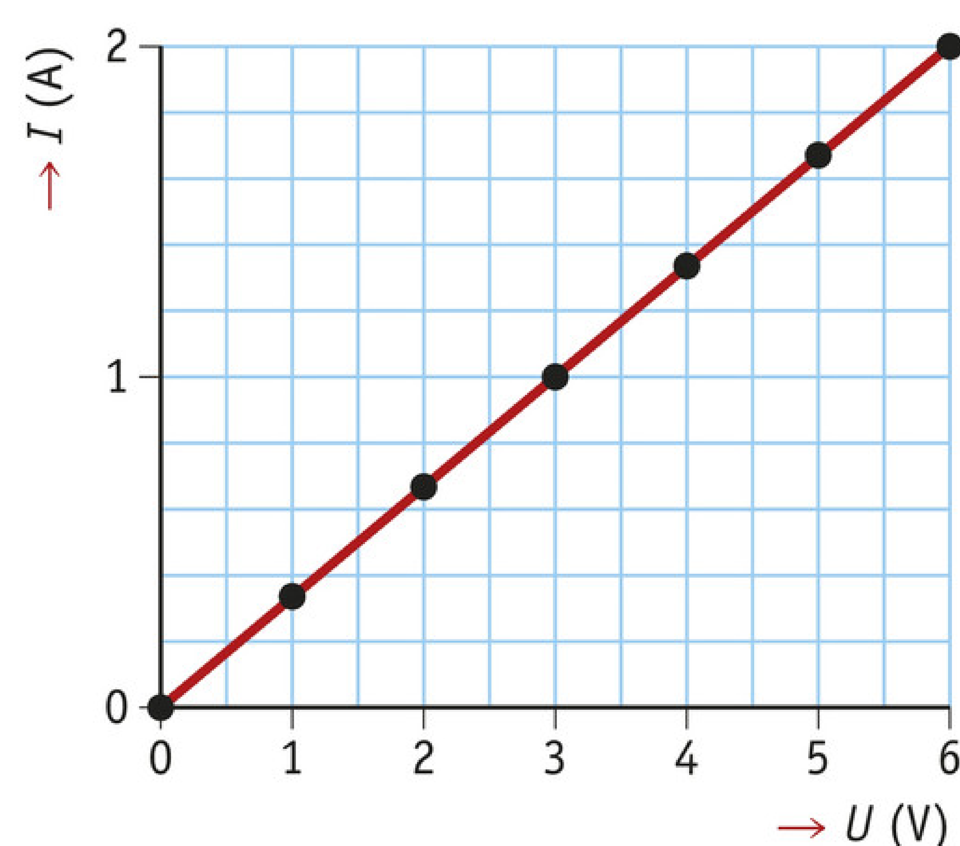
gegevens U = 12 V
I = 100 mA = 0,100 A

gevraagd R = ?

uitwerking $R = \frac{U}{I} = \frac{12}{0{,}100} = 1{,}2 \cdot 10^2\ \Omega$

DE WET VAN OHM

PROEF 1 Je kunt de opstelling in figuur 1 gebruiken om een serie metingen te doen waarbij je de spanning steeds verder opvoert. In figuur 3 zijn de resultaten van zo'n proef getekend. Voor de proef is een draad gebruikt van het metaal constantaan, een legering van koper, nikkel en mangaan. In de grafiek is de stroomsterkte uitgezet tegen de spanning. Je noemt zo'n grafiek een **(*I*,*U*)-diagram**.



figuur 3 Het (*I*,*U*)-diagram van een constantaandraad.

Je ziet:

- Als de spanning 2× zo groot wordt, wordt de stroomsterkte ook 2× zo groot.
- Als de spanning 3× zo groot wordt, wordt de stroomsterkte ook 3× zo groot.
- Enzovoort.

Met andere woorden:

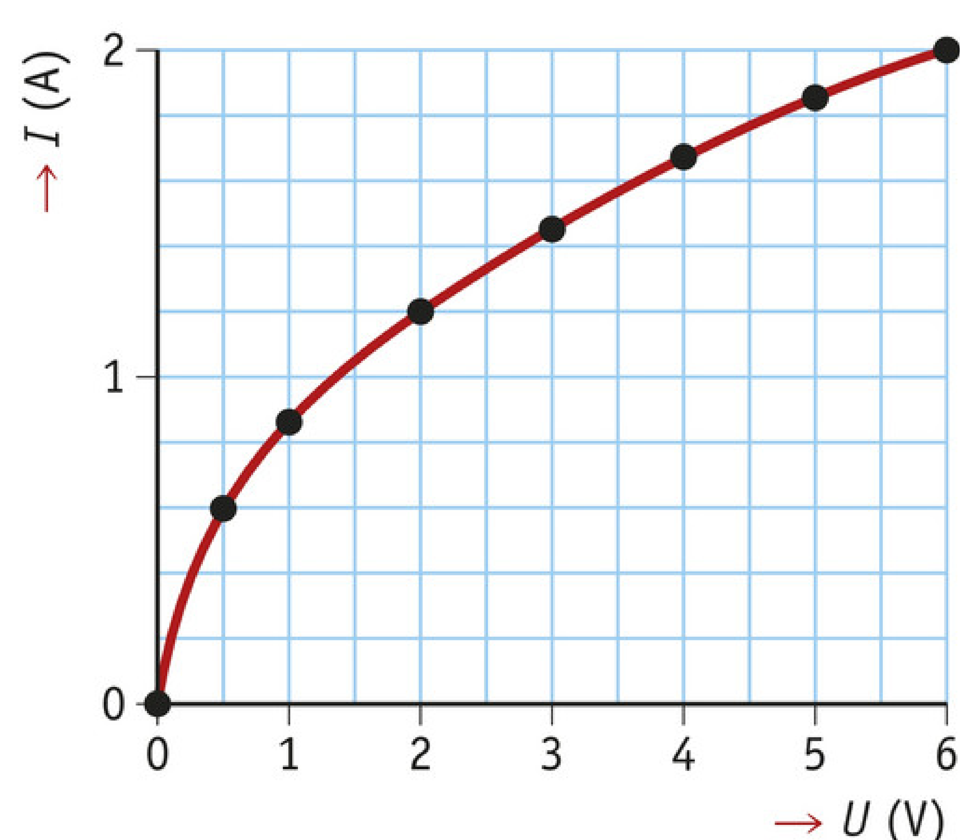
De spanning (*over* de draad) en de stroomsterkte (*door* de draad) zijn recht evenredig.

Deze regel wordt de **wet van Ohm** genoemd.

Uit de wet van Ohm volgt dat de weerstand van de draad een constante waarde heeft: als je de spanning U deelt door de stroomsterkte I, komt daar steeds hetzelfde getal uit.

WEERSTAND EN TEMPERATUUR

PROEF 2 Als je het verband tussen de spanning en de stroomsterkte bij een gloeilampje meet, krijg je een afwijkend resultaat. Dat zie je in het (*I*,*U*)-diagram in figuur 4. De spanning en de stroomsterkte zijn nu niet recht evenredig: als de spanning 2× zo groot wordt, blijft de stroomsterkte daar duidelijk bij achter. In dit geval geldt de wet van Ohm dus niet.



figuur 4 Het (*I*,*U*)-diagram van een gloeilampje.

De oorzaak van deze afwijking is de hoge temperatuur van de gloeidraad. Als de spanning over de gloeidraad toeneemt, gaat het lampje steeds feller branden. De temperatuur van de gloeidraad stijgt daarbij sterk, tot wel 2500 °C. Bij zo'n hoge temperatuur neemt de weerstand van de gloeidraad flink toe.

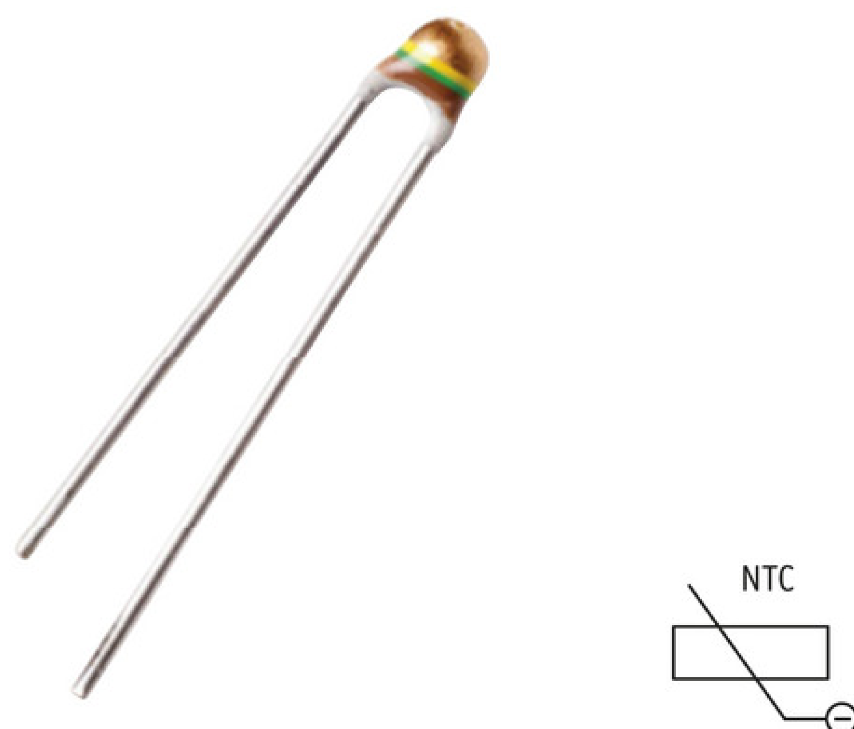
Bijna alle soorten draden krijgen een grotere weerstand als hun temperatuur stijgt. Draden van constantaan vormen een uitzondering: hun weerstand is constant, ook als ze heet worden. Toch kun je er ook bij andere draden vaak van uitgaan dat hun weerstand constant is. Zolang de temperatuurstijging beperkt blijft – en dat is in de praktijk meestal het geval – kun je de toename van de weerstand verwaarlozen.

NTC EN LDR

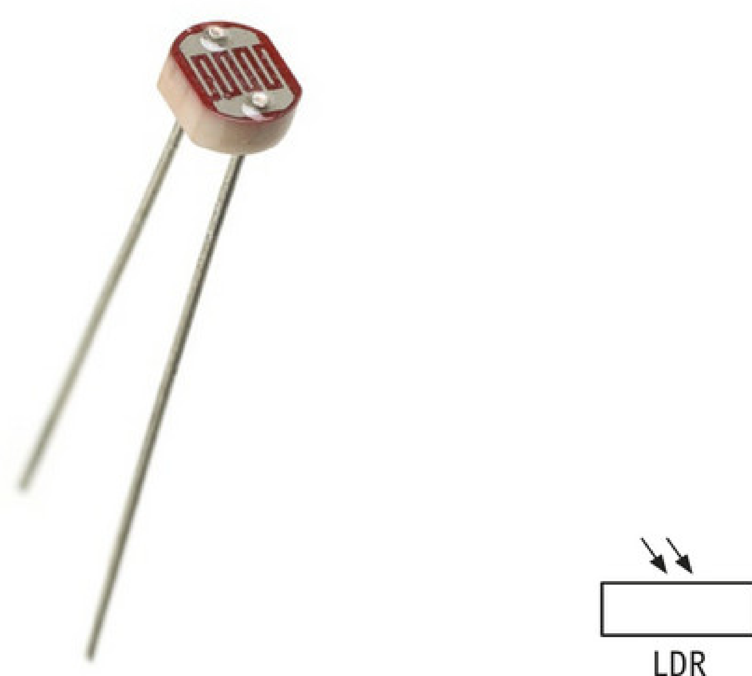
In schakelingen worden soms onderdelen gebruikt met een veranderlijke weerstand. Twee voorbeelden daarvan zijn de negatieve temperatuurcoëfficiënt (NTC) en de lichtgevoelige weerstand of *light dependent resistor* (LDR).

- Een **NTC** (figuur 5) is gevoelig voor veranderingen in temperatuur. Als de temperatuur van een NTC stijgt, daalt zijn weerstand. De NTC gaat dan beter geleiden en laat meer stroom door.
- Een **LDR** (figuur 6) is gevoelig voor veranderingen in de hoeveelheid licht. Als er meer licht op een LDR valt, daalt zijn weerstand. De LDR gaat dan beter geleiden en laat meer stroom door.

Deze variabele weerstanden worden veel gebruikt in automatische schakelingen: de NTC als temperatuursensor, de LDR als lichtsensor.



figuur 5 Een NTC met daarnaast het schakelsymbool.



figuur 6 Een LDR met daarnaast het schakelsymbool.

PLUS SOORTELIJKE WEERSTAND

De weerstand van een wolfraamdraad, die in een gloeilamp zit, is afhankelijk van de temperatuur. Hoe hoger de temperatuur is, hoe groter de weerstand. Dat geldt ook voor een ijzerdraad. Toch blijken ook de weerstanden van een identieke wolfraamdraad en ijzerdraad bij gelijke temperatuur van elkaar te verschillen. Om de weerstanden van metalen goed te kunnen vergelijken, doe je dit bij een standaardtemperatuur van 20 °C. De bijbehorende stofeigenschap noem je de **soortelijke weerstand** (ρ). De soortelijke weerstand van wolfraam is bijvoorbeeld $0{,}055 \cdot 10^{-6}$ Ω m (deze eenheid spreek je uit als 'ohm meter'). De soortelijke weerstand van wolfraam en enkele andere metalen staat in tabel 1.

tabel 1 Soortelijke weerstand bij kamertemperatuur.

stof	soortelijke weerstand ρ ($\cdot 10^{-6}$ Ω m) bij 20 °C
aluminium	0,027
constantaan	0,45
goud	0,022
ijzer	0,105
koper	0,017
staal	0,18
wolfraam	0,055
zilver	0,016

Behalve van de soortelijke weerstand blijkt de weerstand van een draad ook af te hangen van de lengte en de doorsnede van de draad. Je kunt de weerstand van een draad berekenen met de volgende formule:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Hierin is:
- R de weerstand in ohm (Ω);
- ρ de soortelijke weerstand in ohm meter (Ω m);
- l de lengte in meter (m);
- A de oppervlakte van de doorsnede van de draad in vierkante meter (m^2).

VOORBEELDOPDRACHT 2

Voor elektriciteitsleidingen in huis wordt koperdraad gebruikt.
Bereken de weerstand van 10 m koperdraad met een diameter d van 1,6 mm.

gegevens $\rho = 0{,}017 \cdot 10^{-6}$ Ω m (tabel 1)
l = 10 m
d = 1,6 mm

gevraagd R = ?

uitwerking $r = 0{,}5 \times d = 0{,}5 \times 1{,}6 \cdot 10^{-3} = 0{,}80 \cdot 10^{-3}$ m

$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0{,}80 \cdot 10^{-3})^2 = 2{,}01 \cdot 10^{-6}\ m^2$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0{,}017 \cdot 10^{-6} \times 10}{2{,}01 \cdot 10^{-6}} = 0{,}085\ \Omega$$

Let op: rond niet tussentijds af tijdens de berekening van de waarde van A.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Met welke formule kun je de weerstand van een schakelonderdeel berekenen?
b Wat zegt de wet van Ohm over het verband tussen spanning en stroomsterkte?
c Welke bijzondere eigenschap hebben draden die van constantaan zijn gemaakt?
d Waarom geldt de wet van Ohm niet voor de draad in een gloeilampje?
e Van welk schakelonderdeel daalt de weerstand als de temperatuur ervan stijgt?

2 Vul de ontbrekende gegevens in tabel 2 in.

tabel 2 Enkele grootheden en eenheden.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
spanning	U		
	I		
	R	ohm	

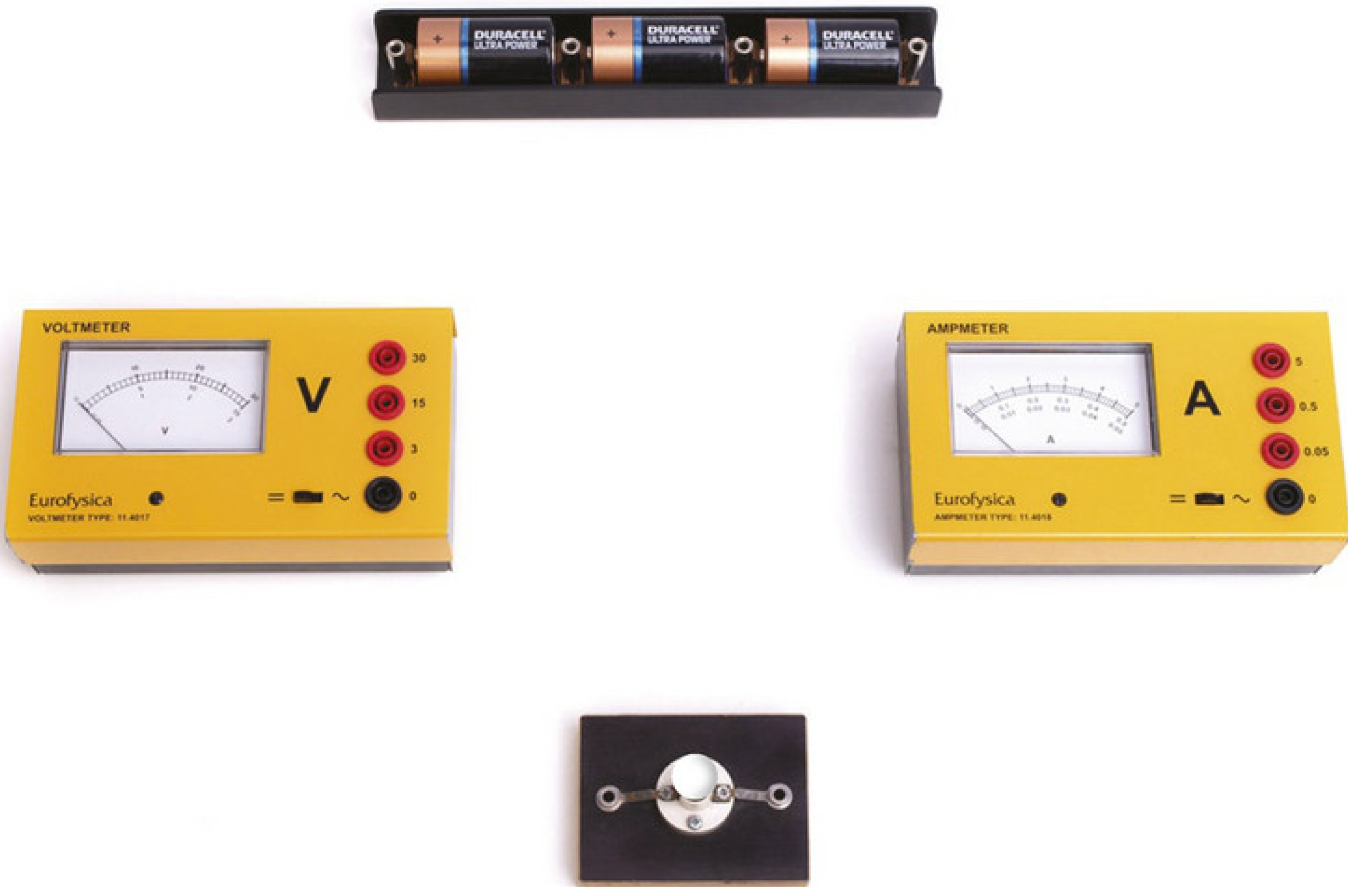
TOEPASSING

3 Alie wil de weerstand van een ledlamp bepalen. In figuur 7a zie je welke spullen ze daarvoor heeft klaargezet.

a Maak de schakeling af door de ontbrekende snoeren in te tekenen in figuur 7a.
b Teken daarna in het tekenvak het bijbehorende schakelschema.
c Alie bouwt de schakeling en voert de proef uit. Op de spanningsmeter leest ze een spanning af van 3,6 V en op de stroommeter een stroomsterkte van 0,020 A.
Bereken uit deze gegevens de weerstand van het lampje.

figuur 7 Practicumschakeling met een ledlampje.

(a) schakeling



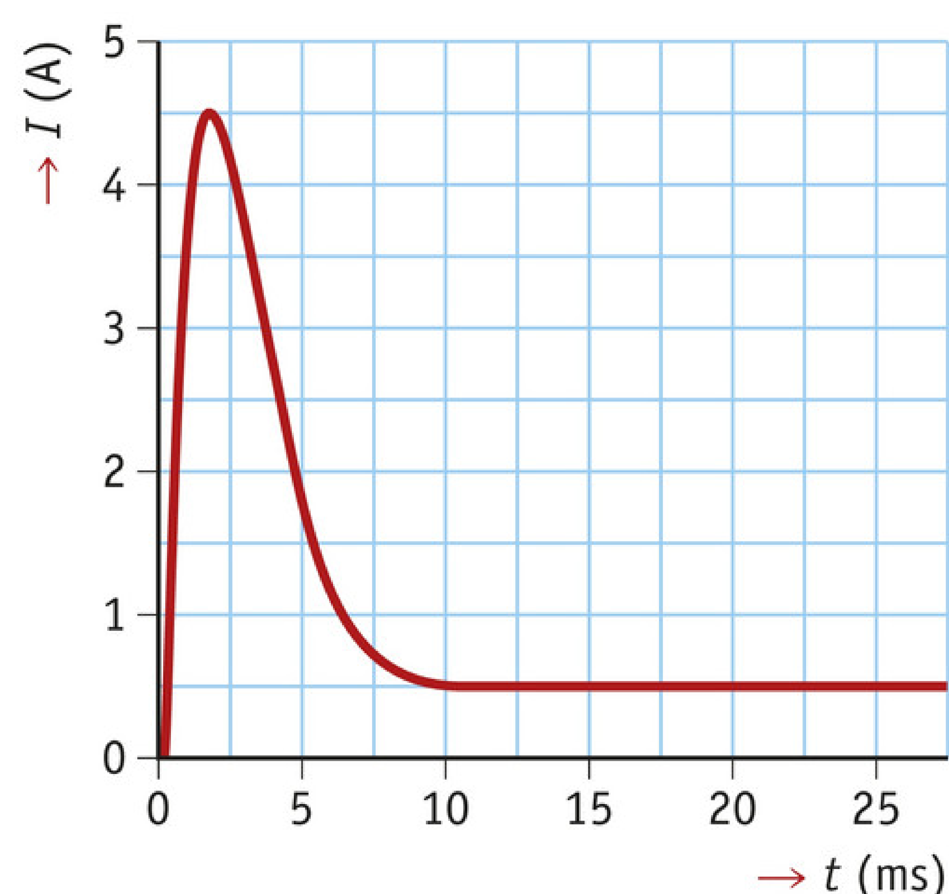


4 Een mixer, een lamp en een waterkoker zijn aangesloten op het lichtnet (230 V).

- Door de mixer loopt een stroom van 1,4 A.
- Door de lamp loopt een stroom van 48 mA.
- Door de waterkoker loopt een stroom van 9,6 A.

Bereken de weerstand van elk apparaat.

5 Bij een proef laat Peter een gloeilampje branden op een batterij (4,5 V). Om de stroom te meten gebruikt hij een meetopstelling met een stroommeter en een computer. Na afloop van de proef laat hij de computer een grafiek tekenen van de eerste 25 ms na het inschakelen van de stroom (figuur 8).



figuur 8 De grafiek van de proef van Peter.

a Waaraan kun je zien dat de weerstand van de gloeidraad niet constant is?
b Wat is de maximale waarde die de stroomsterkte bereikt?
c Bereken hoe groot de weerstand van de gloeidraad op dat moment is.
d Hoe komt het dat de stroomsterkte daarna sterk afneemt?
e Wanneer bereikt de stroomsterkte een constante waarde?
f Bepaal hoe groot de weerstand van de gloeidraad dan is.

6 Mo heeft een constantaandraad van 6,0 Ω aangesloten op een voedingskastje. Hij meet een stroomsterkte van 0,25 A.

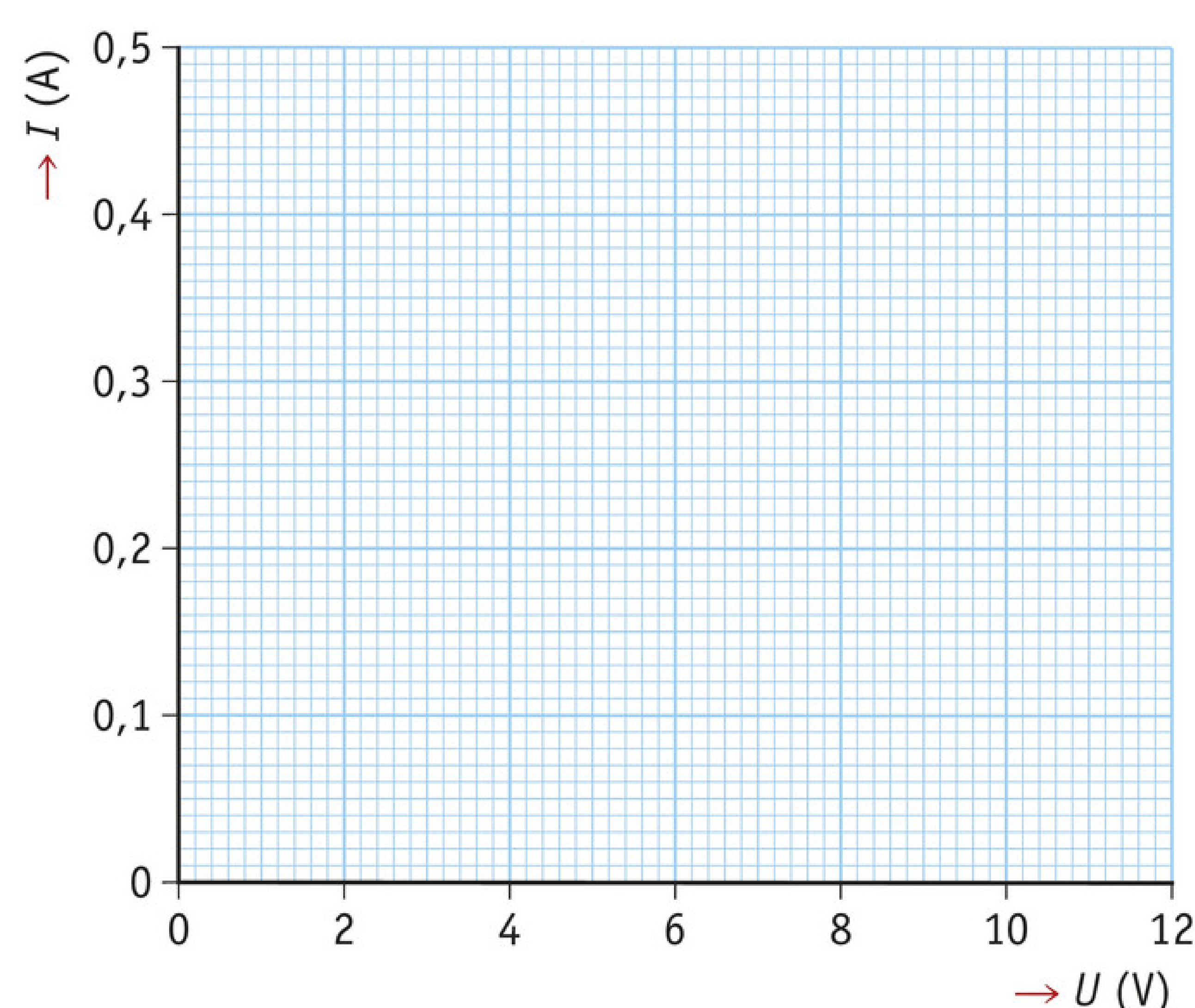
a Bereken welke spanning Mo heeft ingesteld op het voedingskastje.
b Mo draait aan de regelknop van het voedingskastje tot de stroommeter 0,75 A aangeeft.
Beredeneer hoe groot de spanning nu is.
c Controleer je antwoord op opdracht b met een berekening.

7 Isha laat een gloeilampje branden bij verschillende spanningen. Elke keer meet ze de stroomsterkte. Haar meetresultaten staan in tabel 3.

tabel 3 De meetresultaten van Isha.

spanning (V)	stroomsterkte (A)
2,0	0,18
4,0	0,26
6,0	0,32
8,0	0,37
10,0	0,41
12,0	0,44

a Teken in figuur 9 het bijbehorende (*I*,*U*)-diagram.



figuur 9 De grafiek van de meetresultaten van Isha.

b De weerstand van het lampje verandert als het lampje feller gaat branden.
Hoe kun je dat aan de grafiek zien?

c Leg aan de hand van het verloop van de grafiek uit of de weerstand bij feller branden toeneemt of afneemt.

d Bereken hoe groot de weerstand van het lampje is bij een spanning van 7,0 V.

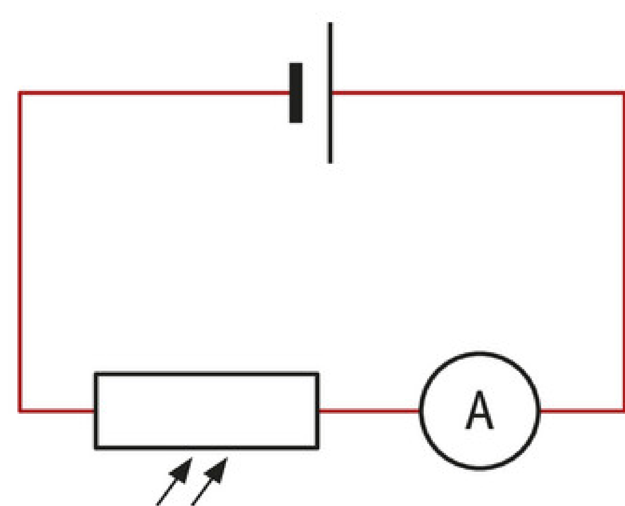
e Leg aan de hand van de grafiek uit of de wet van Ohm geldt voor dit lampje.

8 Tijdens een practicum bouwt Rik een eenvoudige lichtsterktemeter (figuur 10). De batterij van de meter levert een spanning van 3,0 V.

a Als Rik de LDR in de felle zon houdt, is de stroomsterkte 0,22 A.
Bereken hoe groot de weerstand van de LDR dan is.

b Zes uur later is de stroomsterkte nog maar 0,10 mA.
Bereken hoe groot de weerstand van de LDR dan is.

c Hoe kan de weerstand van de LDR in zes uur zoveel groter zijn geworden?

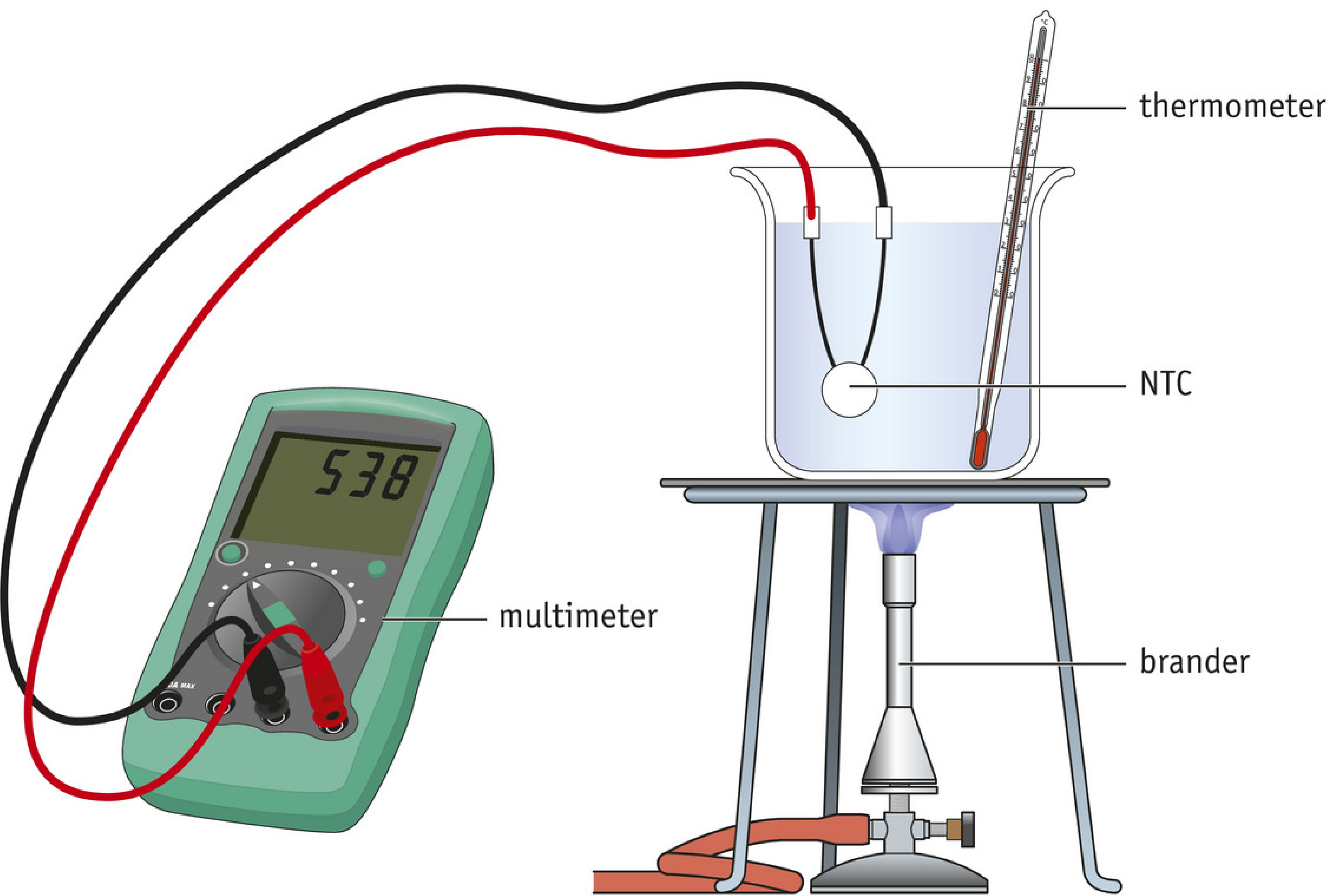


figuur 10 Het schakelschema van Riks lichtsterktemeter.

9 Joanne voert de proef uit die in figuur 11 is getekend. Op de thermometer leest ze de temperatuur van het water af. Met de multimeter meet ze de weerstand van de NTC. In tabel 4 zie je haar meetresultaten.

a Teken in het diagram van figuur 12 de grafiek van Joannes meetresultaten.

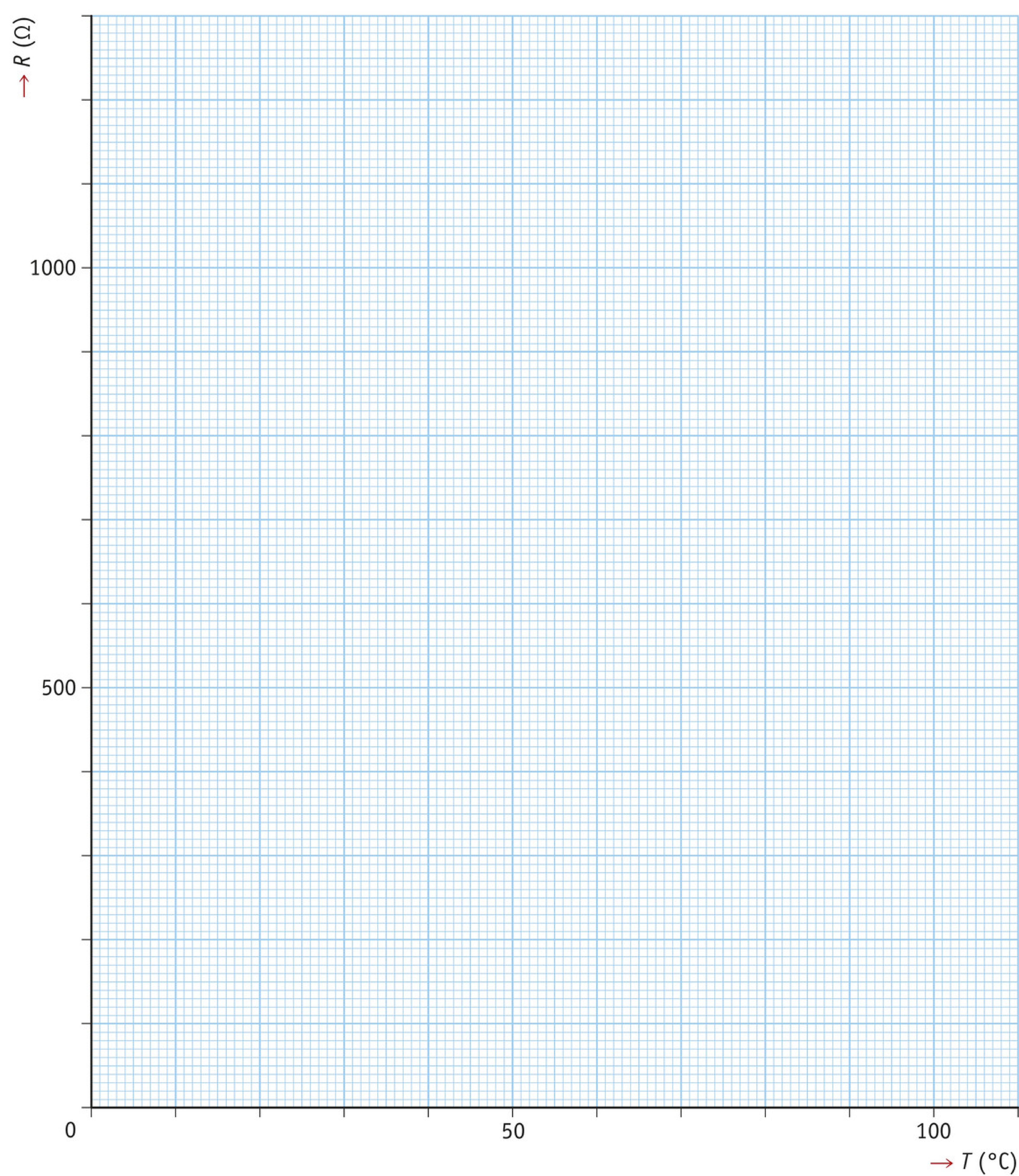
b Lees uit deze grafiek af hoe hoog de temperatuur is:
- als de multimeter 600 Ω aangeeft;
- als de multimeter 150 Ω aangeeft;
- als de multimeter 80 Ω aangeeft.



figuur 11 De proefopstelling van Joanne.

tabel 4 De meetresultaten van Joanne.

temperatuur (°C)	weerstand (Ω)
20	1249
30	785
40	511
50	341
60	255
70	176
80	129
90	96
100	72



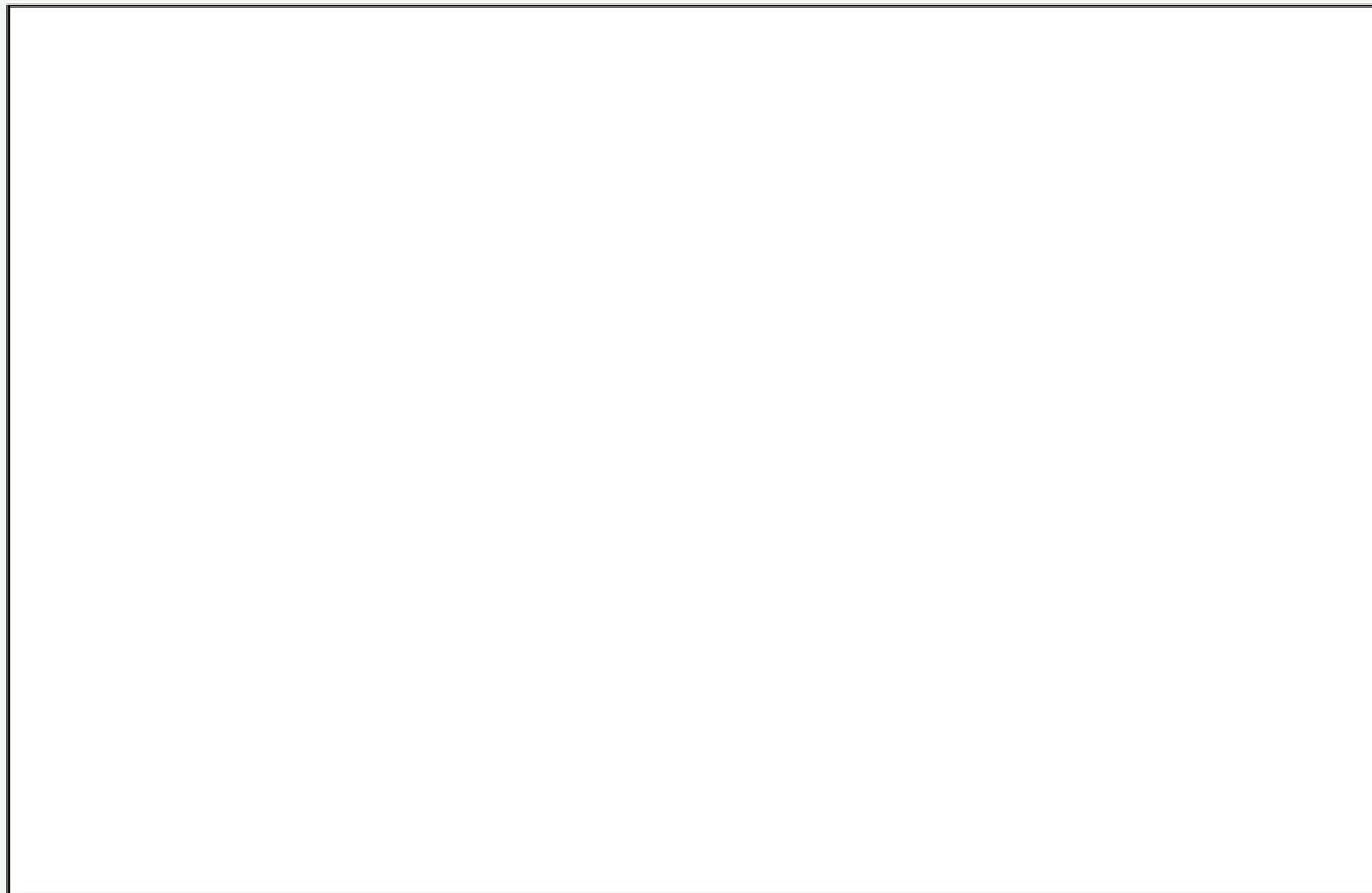
figuur 12 De grafiek van de meetresultaten van Joanne.

Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS SOORTELIJKE WEERSTAND

10 Joyce wil de soortelijke weerstand van ijzer bepalen. Ze besluit dat te doen door de weerstand van een stuk ijzerdraad te bepalen met behulp van een spanningsmeter en een stroommeter.

a Teken de schakeling die Joyce gebruikt.



b Ze meet een stroomsterkte van 0,14 A bij een spanning van 0,50 V.
Bereken de weerstand van de draad.

c De draad is 100 cm lang en de oppervlakte van de doorsnede is 0,031 mm^2.
Bereken de soortelijke weerstand van ijzer.

11 Erwin heeft een klosje geïsoleerd koperdraad. Hij wil weten hoeveel meter draad er nog op het klosje zit. Hij heeft geen zin om de draad van het klosje af te rollen en na te meten. Daarom bepaalt hij de lengte door de weerstand te meten. Op het klosje staat dat de draad een doorsnede heeft van 0,0491 mm^2. Hij meet een weerstand van 1,2 Ω.

a Bereken de lengte van de draad.

b Leg uit waarom Erwin zijn metingen onmiddellijk na het aansluiten van de spanning moet doen.

12 Een leerling wil de verhouding van de weerstanden van twee draadjes A en B bepalen. De draden zijn van hetzelfde materiaal gemaakt en hebben dezelfde lengte.
Draad A heeft een doorsnede van 0,20 mm^2 en een weerstand van 25 mΩ.
Draad B heeft een doorsnede van 0,50 mm^2. Noem de weerstand van dit draadje R_B.
Kies het juiste antwoord en geef een uitleg bij je keuze.

- ○ A R_B = 4,0 mΩ
- ○ B R_B = 10 mΩ
- ○ C R_B = 63 mΩ
- ○ D R_B = $1{,}6 \cdot 10^2$ mΩ

3 Werken met weerstanden

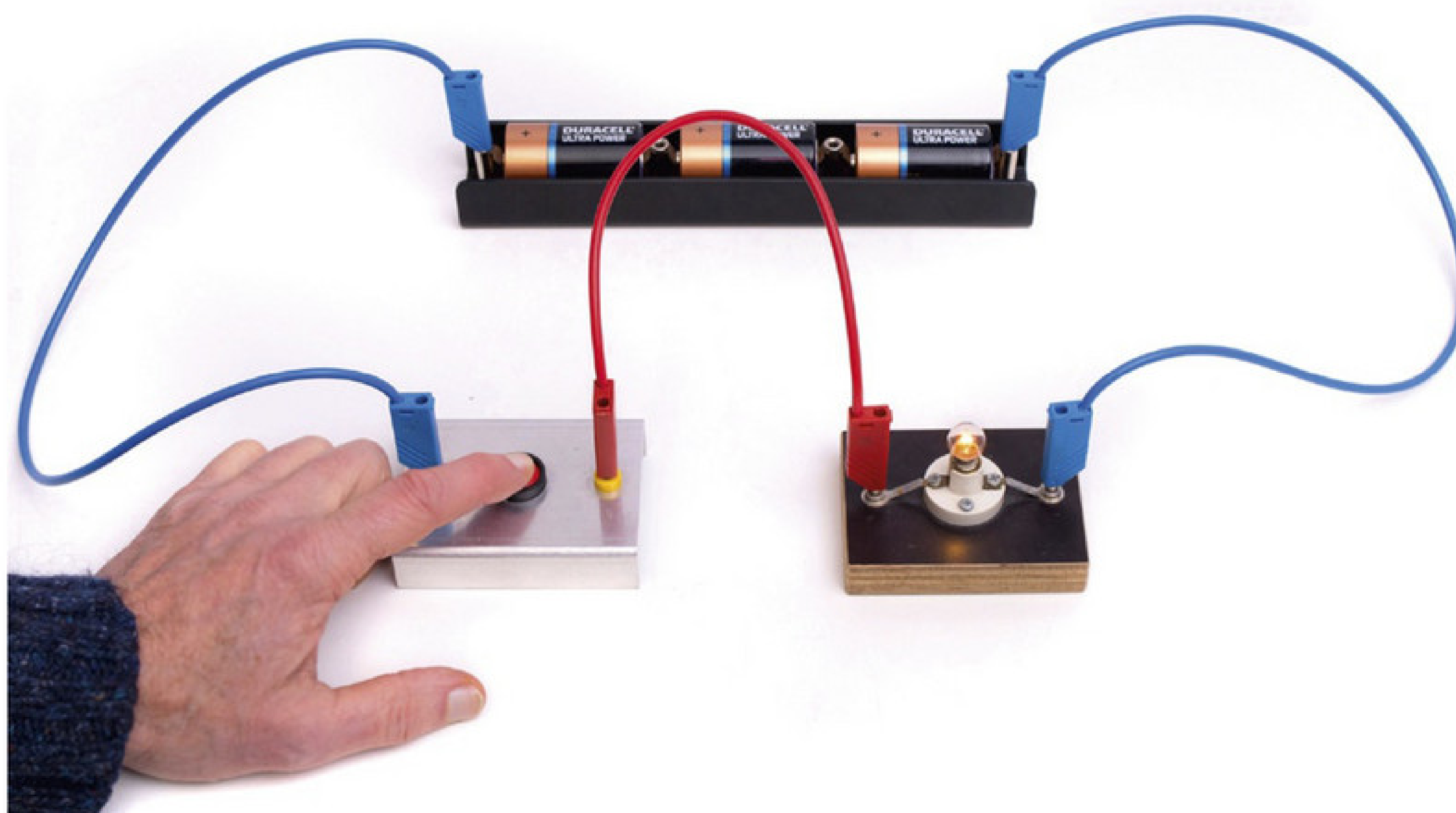
LEERDOELEN

5.3.1 Je kunt de vervangingsweerstand in een serieschakeling berekenen.
5.3.2 Je kunt de spanning over de weerstanden in een serieschakeling berekenen.
5.3.3 Je kunt de vervangingsweerstand in een parallelschakeling berekenen.
5.3.4 Je kunt de stroomsterkte door de weerstanden in een parallelschakeling berekenen.
PLUS 5.3.5 Je kunt de werking van schakelingen met een temperatuursensor uitleggen.

In mobiele telefoons en laptops kom je ingewikkelde schakelingen tegen, met honderden onderdelen. Een ontwerper van zo'n schakeling kijkt altijd zorgvuldig naar de stroomsterkte door die onderdelen en voegt zo nodig extra weerstand toe. De stroomsterkte kan anders te groot worden, waardoor onderdelen door oververhitting kapot kunnen gaan.

DE WEERSTAND VERGROTEN

Het lampje in figuur 1 is aangesloten op een spanning van 4,5 V. Dit is de spanning waarvoor dit lampje is ontworpen. Bij deze spanning heeft de stroomsterkte door het lampje precies de juiste waarde.

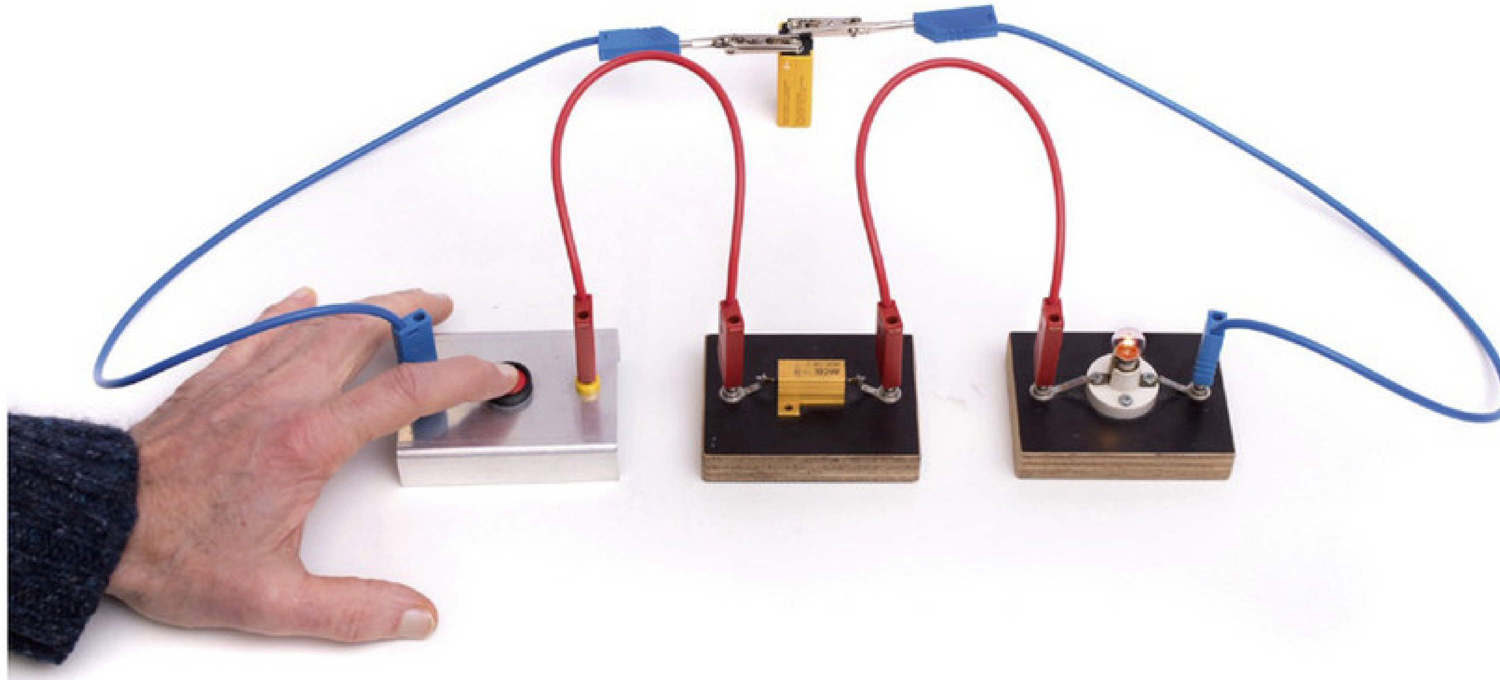


figuur 1 Het lampje brandt op de juiste spanning.

Je kunt het lampje niet zomaar aansluiten op een batterij van 9 V. De weerstand van het lampje is te klein voor deze spanning. Als je het lampje toch rechtstreeks op 9 V aansluit, wordt de stroomsterkte te groot: het lampje brandt door.

Misschien wil je toch een batterij van 9 V gebruiken, bijvoorbeeld omdat je geen andere batterij hebt. Dat kan wel, maar dan moet je eerst de totale weerstand groter maken. Daarvoor heb je een schakelonderdeel nodig dat voor dit doel de juiste weerstand heeft. Zo'n onderdeel wordt (ook) een **weerstand** genoemd.

Als je een geschikte weerstand hebt gevonden, schakel je hem in serie met het lampje (figuur 2). Daardoor wordt de totale weerstand van de stroomkring groter. Zo kun je de stroomsterkte verkleinen tot een waarde waarbij het lampje niet doorbrandt.



figuur 2 De weerstand voorkomt dat het lampje doorbrandt.

WEERSTANDEN IN SERIE

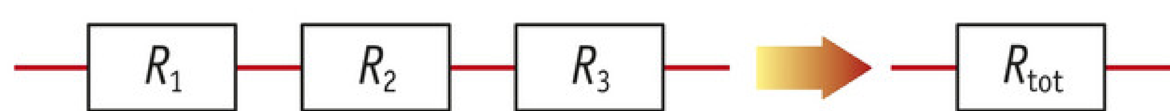
PROEF 3

Als je steeds meer weerstanden in serie schakelt, krijgt de schakeling in haar geheel een steeds grotere weerstand. Bij een gelijkblijvende spanning zal de stroomsterkte steeds verder afnemen. Je kunt de totale weerstand R_{tot} berekenen door de afzonderlijke weerstanden bij elkaar op te tellen (figuur 3):

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + ...$$

Hierin is:

- R_{tot} de totale weerstand in ohm (Ω);
- R_1, R_2, R_3 de weerstand van het eerste, tweede en derde schakelonderdeel in ohm (Ω).



figuur 3 Weerstanden in serie tel je op.

Als je de afzonderlijke weerstanden vervangt door één weerstand met de waarde van R_{tot}, maakt dat voor de rest van de schakeling niets uit. De totale weerstand wordt daarom ook wel de **vervangingsweerstand** genoemd.

STROOMSTERKTE EN SPANNING IN EEN SERIESCHAKELING

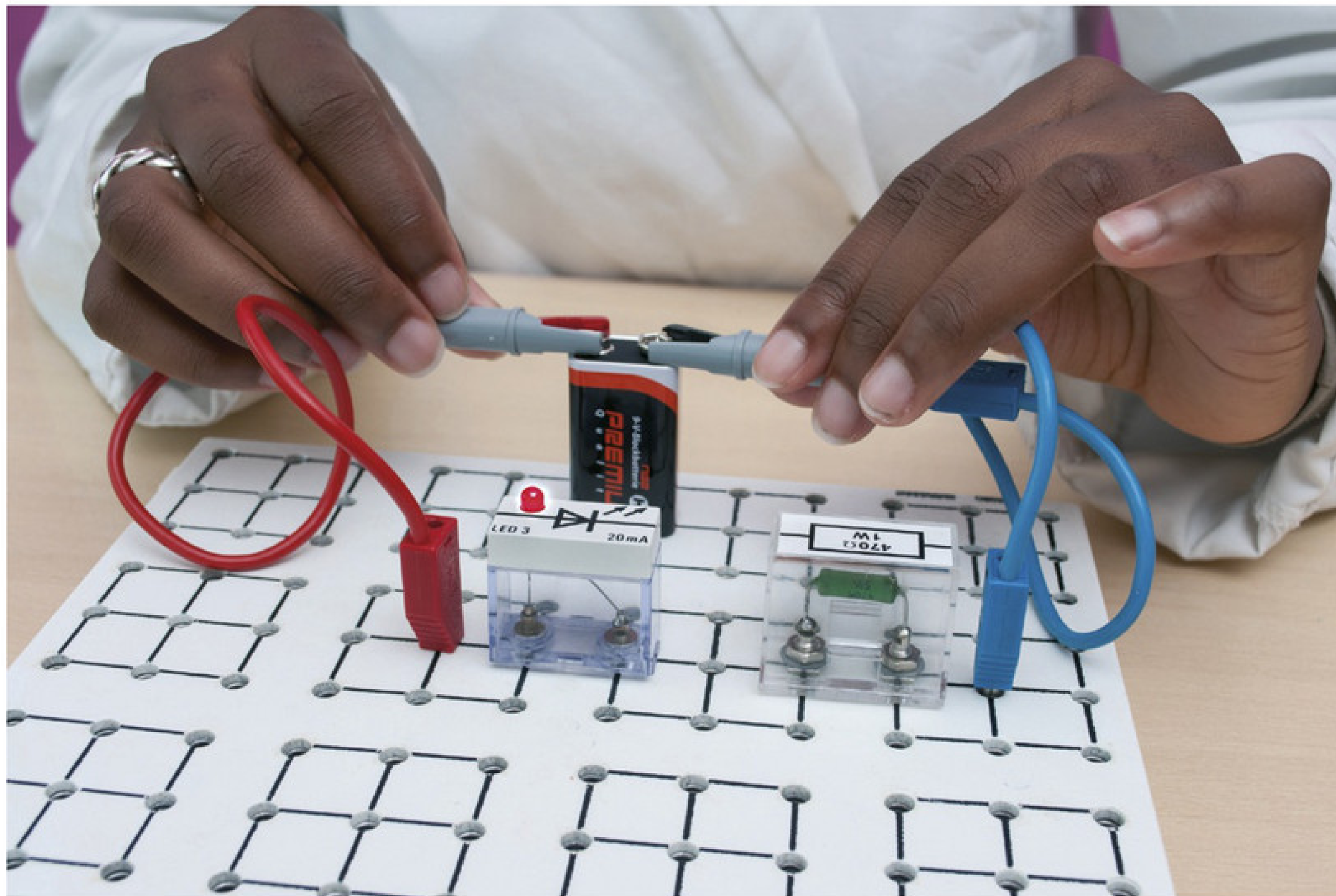
De stroomsterkte I is in een serieschakeling overal even groot. Er zijn geen vertakkingen waarover de stroom zich moet verdelen. De spanning verdeelt zich in een serieschakeling over de verschillende schakelonderdelen. Als je twee identieke lampjes in serie schakelt en aansluit op een batterij van 9,0 V, brandt elk lampje op 4,5 V: ze krijgen elk de helft van de bronspanning.

Als de twee lampjes een verschillende weerstand hebben, wordt de bronspanning U_{tot} niet precies in tweeën verdeeld. Over lampje 1 staat dan een spanning $U_1 = I \cdot R_1$ en over lampje 2 een spanning $U_2 = I \cdot R_2$. Bij elkaar opgeteld zijn U_1 en U_2 gelijk aan de bronspanning:

$$U_{tot} = U_1 + U_2 + \ldots$$

Hierin is:
- U_{tot} de spanning over de totale schakeling in volt (V);
- U_1 en U_2 de spanning over het eerste en tweede schakelonderdeel in volt (V).

Vaak worden weerstanden gebruikt om andere schakelonderdelen op de juiste spanning te laten werken. In figuur 4 zie je een voorbeeld. Omdat de spanning van de batterij te hoog is voor het ledlampje, wordt het in serie geschakeld met een weerstand. Een deel van de spanning komt daardoor over de weerstand te staan. De overblijvende spanning is precies hoog genoeg om het ledlampje goed te laten branden.



figuur 4 Een ledlampje wordt in serie geschakeld met een voorschakelweerstand.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Het ledlampje in figuur 4 brandt optimaal op een spanning van 2,0 V. Door het lampje loopt dan een stroom van 20 mA. De batterij levert een spanning van 9,0 V.
Bereken hoe groot de waarde van de weerstand moet zijn om het lampje op de juiste spanning te laten branden.

gegevens
U_1 = 2,0 V
U_{tot} = 9,0 V
I = 20 mA = 0,020 A

gevraagd
R_2 = ?

uitwerking
$U_{tot} = U_1 + U_2$
$9{,}0 = 2{,}0 + U_2$

U_2 = 7,0 V

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{7{,}0}{0{,}020} = 3{,}5 \cdot 10^2\ \Omega$$

WEERSTANDEN PARALLEL

PROEF 4

Als je steeds meer weerstanden parallel aansluit, wordt de totale weerstand van de schakeling niet groter zoals bij een serieschakeling, maar juist kleiner. Doordat het aantal vertakkingen toeneemt, kan de stroom gemakkelijker rondlopen. Bij een gelijkblijvende spanning neemt de stroomsterkte dus steeds verder toe.

Je kunt schakelonderdelen daarom niet onbeperkt parallel schakelen. De aan- en afvoerleidingen kunnen anders al snel overbelast raken. Om overbelasting te voorkomen, wordt een elektrische installatie verdeeld in groepen met elk een beperkt aantal schakelonderdelen. Dat geldt voor de huisinstallatie, maar ook voor de lichtinstallatie tijdens een groot concert (figuur 5).



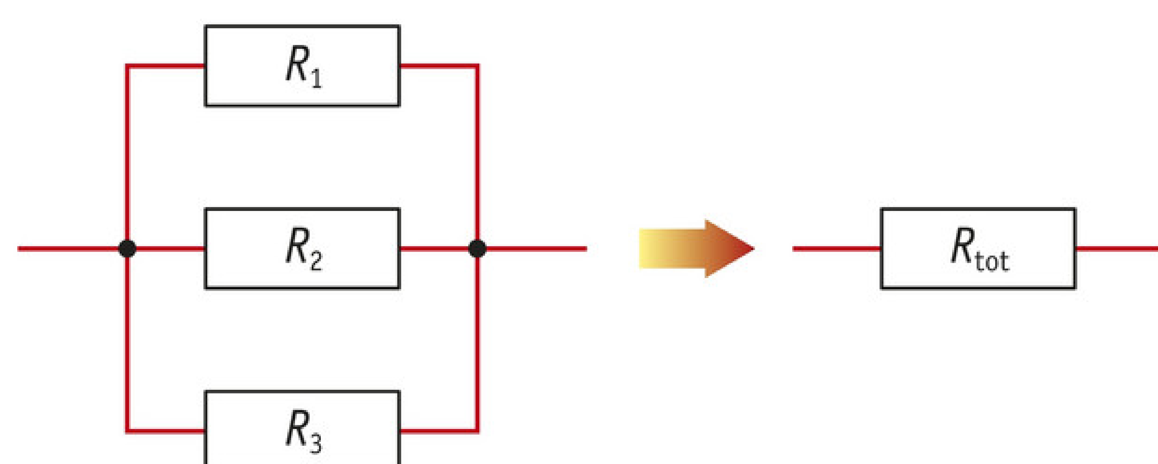
figuur 5 Een lichtinstallatie is net als een huisinstallatie verdeeld in groepen.

Je kunt de totale weerstand R_{tot} van een parallelschakeling (figuur 6) berekenen met de formule:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$

Hierin is:

- R_{tot} de totale weerstand in ohm (Ω);
- R_1, R_2, R_3 de weerstand van het eerste, tweede en derde schakelonderdeel in ohm (Ω).



figuur 6 De totale weerstand wordt kleiner als de weerstanden parallel zijn geschakeld.

Uit deze formule volgt dat de totale weerstand (ook wel vervangingsweerstand genoemd) altijd kleiner is dan de afzonderlijke weerstanden (R_1, R_2, enzovoort).

VOORBEELDOPDRACHT 2

Esther schakelt een weerstand van 55 Ω parallel aan een weerstand van 145 Ω.
Bereken de vervangingsweerstand.

gegevens $R_1 = 55\ \Omega$
$R_2 = 145\ \Omega$

gevraagd $R_{tot} = ?$

uitwerking $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{55} + \frac{1}{145} = 0{,}025$

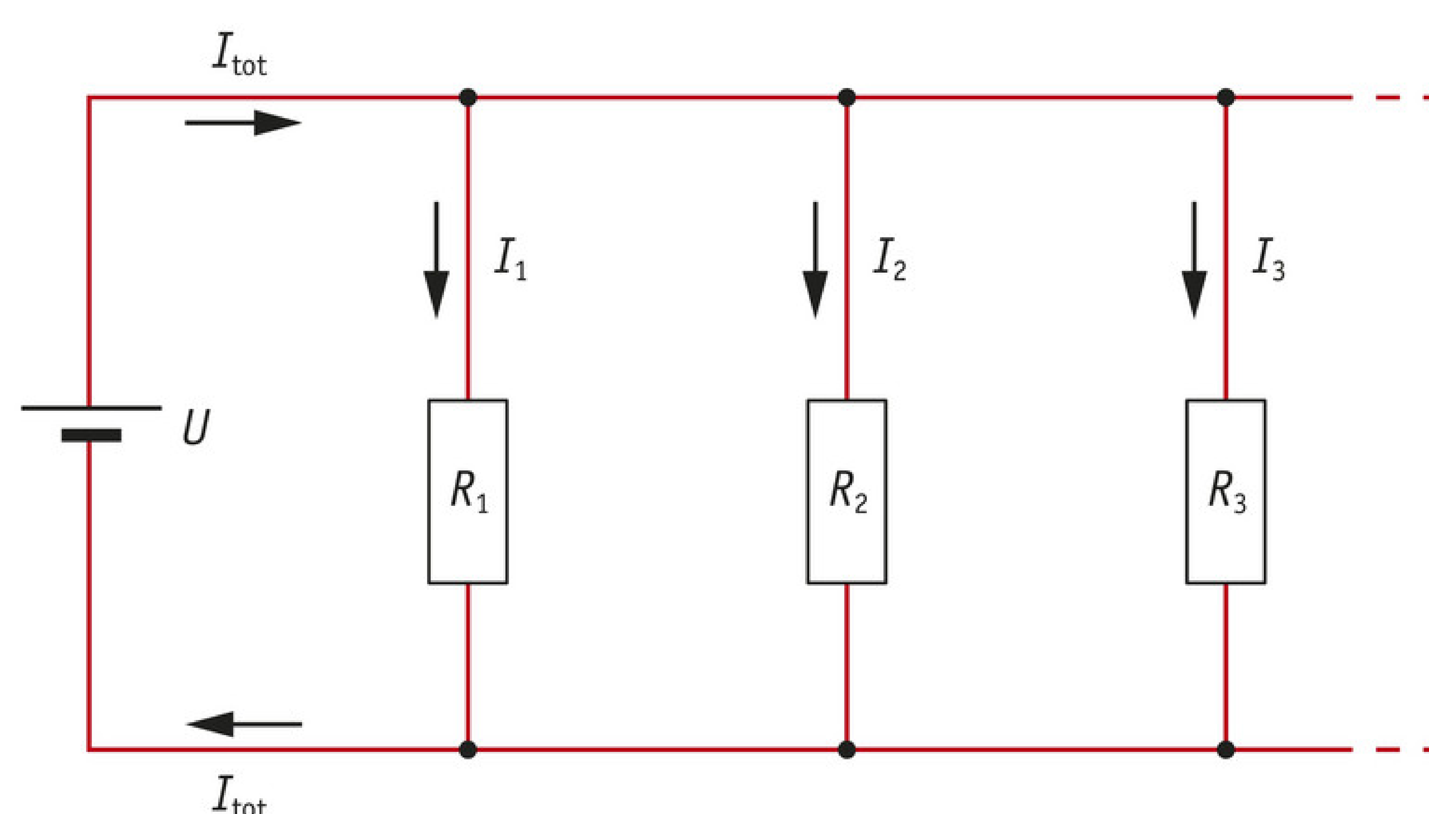
$R_{tot} = \frac{1}{0{,}025} = 40\ \Omega$

STROOMSTERKTE EN SPANNING IN EEN PARALLELSCHAKELING

In een parallelschakeling is elk schakelonderdeel rechtstreeks met de spanningsbron verbonden. Over elk onderdeel staat de volledige bronspanning *U*. De stroom verdeelt zich bij een parallelschakeling over de verschillende vertakkingen (figuur 7). Je kunt de totale stroomsterkte berekenen met de formule:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$$

Hierin is:
- I_{tot} de totale stroomsterkte in het niet-vertakte gedeelte in ampère (A);
- I_1, I_2, I_3 de stroomsterkte door de eerste, tweede en derde vertakking in ampère (A).



figuur 7 Bij een parallelschakeling verdeelt de stroom zich.

In het niet-vertakte gedeelte bestaat risico op overbelasting als er te veel schakelonderdelen tegelijk worden aangesloten.

VOORBEELDOPDRACHT 3

Bereken de totale stroomsterkte in de schakeling uit voorbeeldopdracht 2 als je de weerstanden aansluit op een spanningsbron van 9,0 V.

gegevens $R_1 = 55\ \Omega$
$R_2 = 145\ \Omega$
$U = 9{,}0\ \text{V}$

gevraagd $I_{tot} = ...$

uitwerking $I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{9{,}0}{55} = 0{,}164\ \text{A}$

$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{9{,}0}{145} = 0{,}0621\ \text{A}$

$I_{tot} = I_1 + I_2 = 0{,}164 + 0{,}0621$

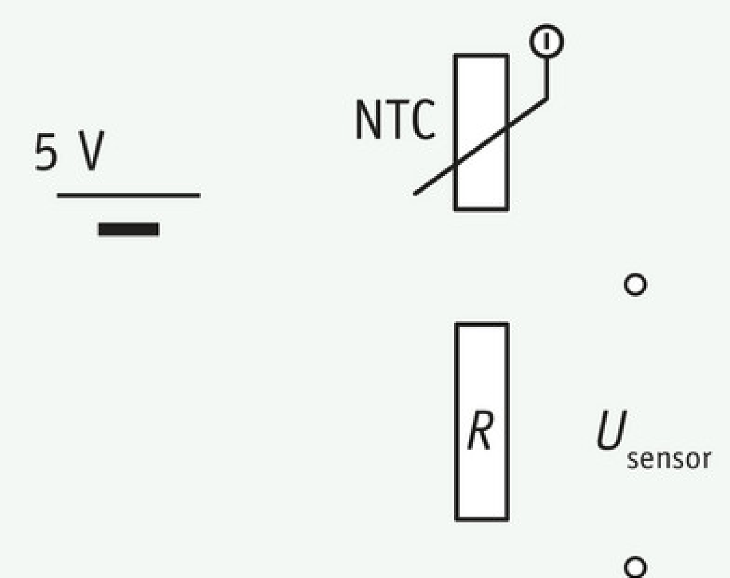
$I_{tot} = 0{,}23\ \text{A}$

Je krijgt dezelfde uitkomst als je de bronspanning deelt door de totale weerstand:

$$I_{tot} = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{9,0}{40} = 0{,}23\ \text{A}$$

PLUS DE TEMPERATUURSENSOR

In schakelingen worden soms componenten (onderdelen) gebruikt met een veranderlijke weerstand. Voorbeelden daarvan zijn de **PTC** en de NTC. Deze weerstanden zijn gevoelig voor veranderingen in temperatuur. Een NTC is gemaakt van een speciale stof, een halfgeleider zoals silicium. Als de temperatuur van een NTC stijgt, daalt zijn weerstand. De eenvoudigste soort PTC is gemaakt van een metaaldraad van bijvoorbeeld platina. Als de temperatuur van een PTC stijgt, stijgt ook zijn weerstand.



figuur 8 Een temperatuursensor met een NTC.

NTC's en PTC's worden veel gebruikt in temperatuursensoren: een schakeling die een spanning afgeeft die afhankelijk is van de temperatuur. Zo gaat er een lampje branden op een frituurpan als de olie de juiste temperatuur heeft bereikt, kun je een verwarming automatisch inschakelen als het te koud wordt, en koelelementen in een vriezer inschakelen als het te warm wordt.

In figuur 8 zie je een voorbeeld van een temperatuursensor waarin een NTC en een vaste weerstand *R* worden gebruikt. Als de temperatuur stijgt, daalt de weerstand van de NTC en dus ook de totale weerstand in de schakeling. Hierdoor neemt de stroomsterkte in de schakeling toe. De spanning over de vaste weerstand neemt dan ook toe, volgens $U = I \cdot R$. Deze spanning kun je dan bijvoorbeeld toevoeren naar een andere schakeling om een waarschuwingslampje in te schakelen.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe kun je een lampje dat is ontworpen voor een spanning van 6 V toch veilig aansluiten op een batterij van 9 V?

b Hoe verandert de totale weerstand van een serieschakeling als je het aantal weerstanden steeds groter maakt?

c Waarom wordt de totale weerstand van een aantal weerstanden ook wel ‘de vervangingsweerstand’ genoemd?

d Met welke formule kun je de vervangingsweerstand berekenen van drie parallel geschakelde weerstanden?

2 Onderstreep de juiste schakeling.

a In een *parallelschakeling* / *serieschakeling* is de stroomsterkte overal even groot.

b In een *parallelschakeling* / *serieschakeling* splitst de stroom zich bij elke vertakking.

c In een *parallelschakeling* / *serieschakeling* staat de volledige bronspanning over elk schakelonderdeel.

d In een *parallelschakeling* / *serieschakeling* verdeelt de spanning zich over de diverse schakelonderdelen.

TOEPASSING

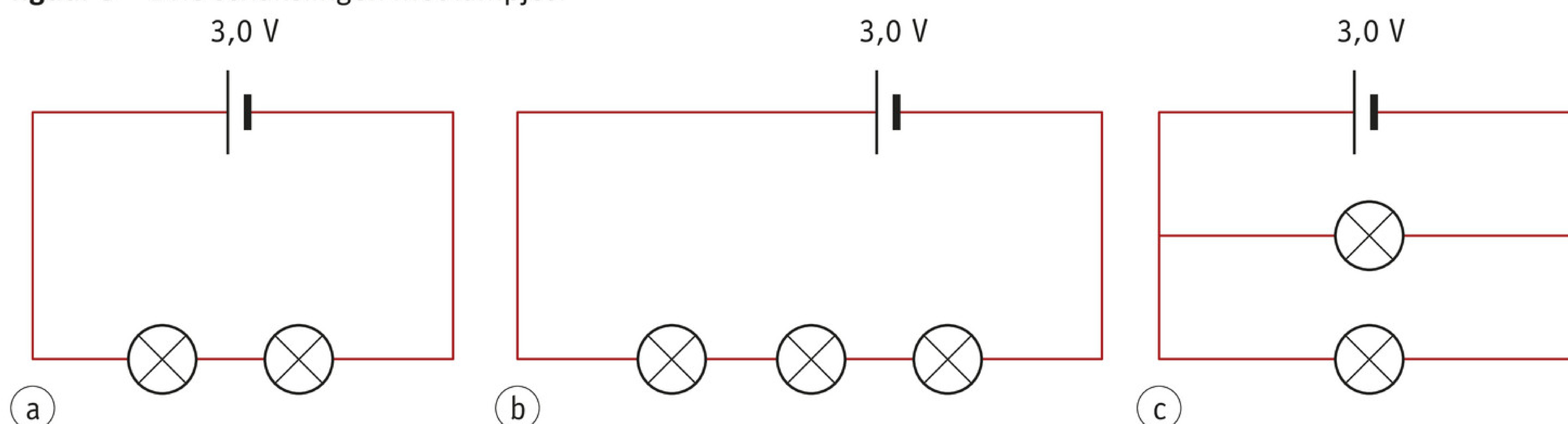
3 Alle lampjes in de schakelingen van figuur 9 zijn gelijk.

a In welke schakeling is de (totale) weerstand het kleinst en waarom?

b In welke schakeling is de (totale) stroomsterkte het kleinst en waarom?

c In welke schakeling branden de lampjes het felst en waarom?

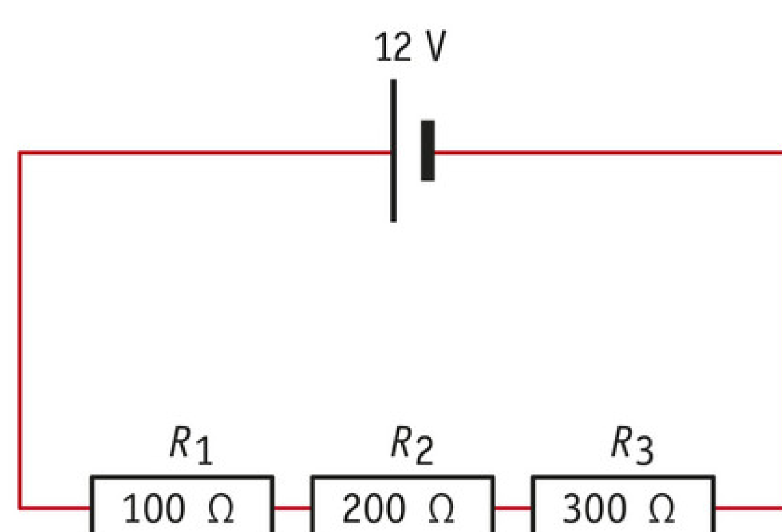
figuur 9 Drie schakelingen met lampjes.



4 Bekijk de serieschakeling die in figuur 10 is getekend.

a Bereken de totale weerstand.

b Bereken de stroomsterkte.



figuur 10 Een serieschakeling.

5 Een kerstboomverlichting bestaat uit honderd in serie geschakelde ledlampjes. Als het geheel wordt aangesloten op 230 V, loopt door een lampje een stroom van 20,0 mA.

a Bereken de weerstand van één lampje.

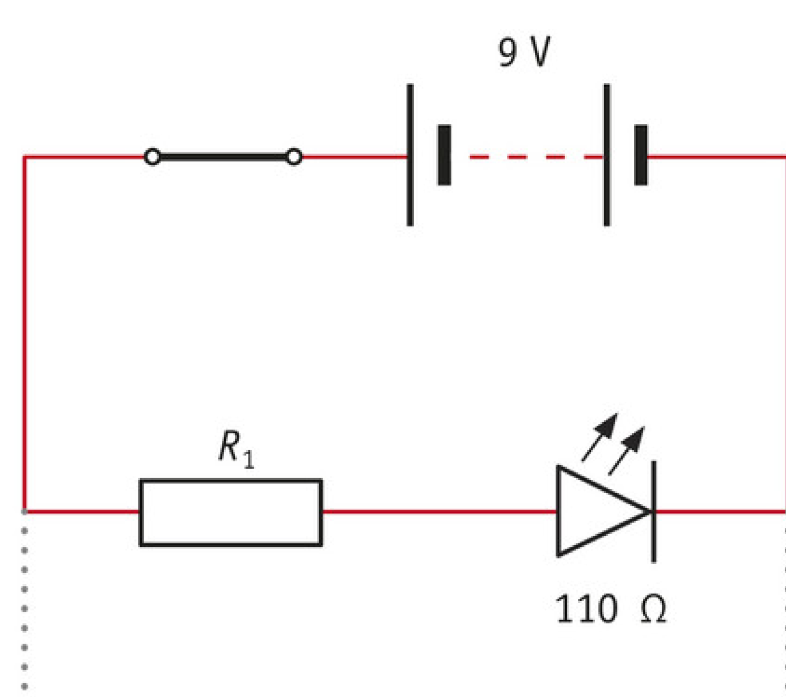
b Bereken de totale weerstand van alle lampjes samen als ze normaal branden.

c Controleer met je antwoord op opdracht b of de stroomsterkte door deze serieschakeling inderdaad 0,020 A is.

6 Een zendermicrofoon werkt op een batterij van 9 V. Als je de spanning inschakelt, gaat er een ledlampje branden (figuur 11). De voorschakelweerstand R_1 zorgt ervoor dat het ledlampje niet doorbrandt. Als de batterij 9,0 V levert, is de stroomsterkte door het ledlampje 18 mA.

a Bereken de totale weerstand van de schakeling.

b Bereken de waarde van weerstand R_1.



figuur 11 Een ledlampje met een voorschakelweerstand.

7 Twee weerstanden zijn parallel aangesloten op een batterij met een spanning van 3,0 V. De eerste weerstand heeft een waarde van 150 Ω, de tweede een waarde van 250 Ω.

a Bereken de vervangingsweerstand van deze parallelschakeling.

b Bereken de totale stroomsterkte door de schakeling.

8 In een kookplaat van een elektrisch fornuis zitten twee verwarmingselementen, R_1 en R_2. R_1 heeft een weerstand van 65 Ω, R_2 heeft een weerstand van 35 Ω. De kookplaat is aangesloten op het lichtnet (230 V).
Bereken de totale stroomsterkte door de kookplaat:

a wanneer alleen R_1 is ingeschakeld.

b wanneer alleen R_2 is ingeschakeld.

c wanneer R_1 en R_2 beide zijn ingeschakeld en in serie zijn geschakeld.

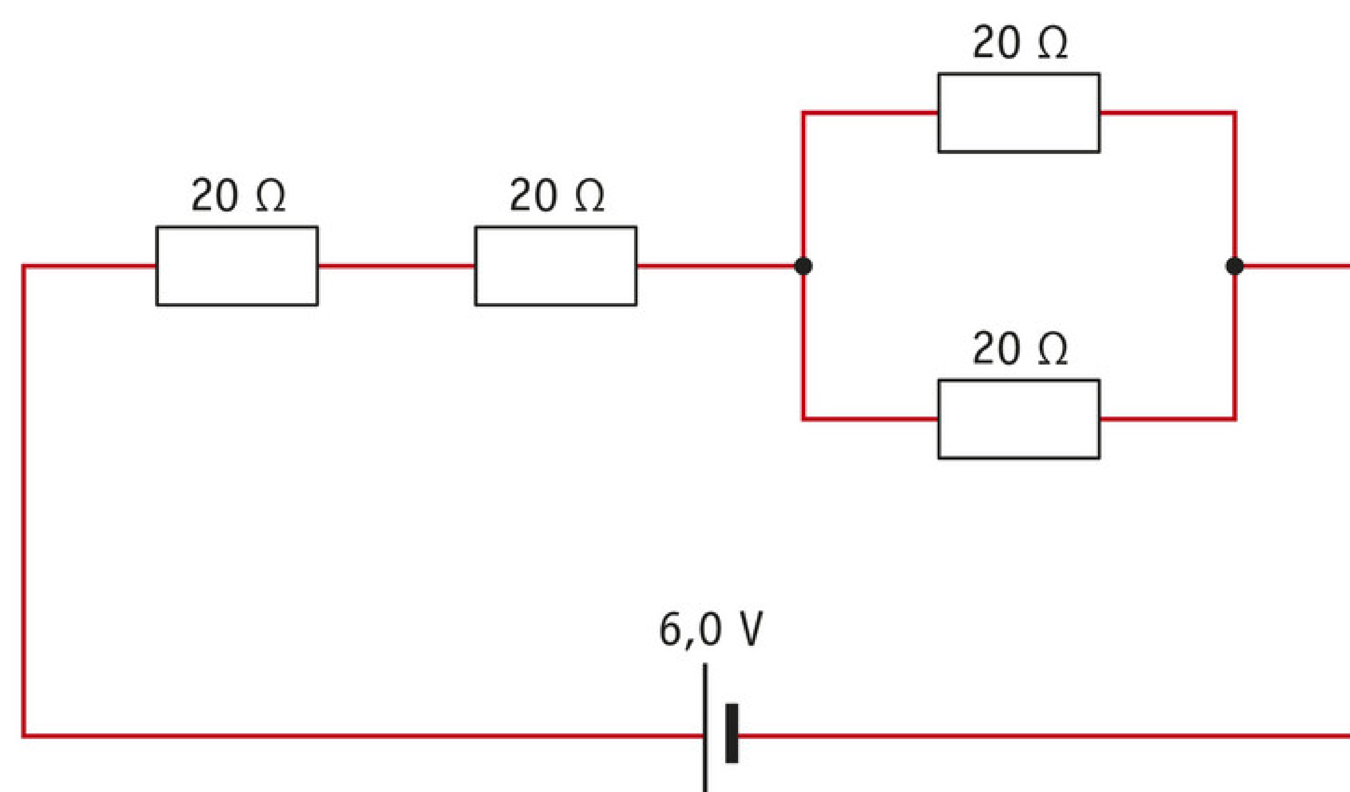
d wanneer R_1 en R_2 beide zijn ingeschakeld en parallel zijn geschakeld.

★ 9 Een weerstand van 60 Ω, een van 40 Ω en een onbekende weerstand R_3 worden parallel geschakeld. De totale weerstand van deze schakeling is 15 Ω.
Bereken de waarde van R_3.

★ 10 Alisha heeft vier identieke weerstanden van 20 Ω. Ze maakt daarmee de combinatie van figuur 12 en sluit deze aan op een spanning van 6,0 V.

a Bereken de totale stroomsterkte.

b Wat is de grootste en wat is de kleinste totale weerstand die je met deze vier weerstanden kunt maken?



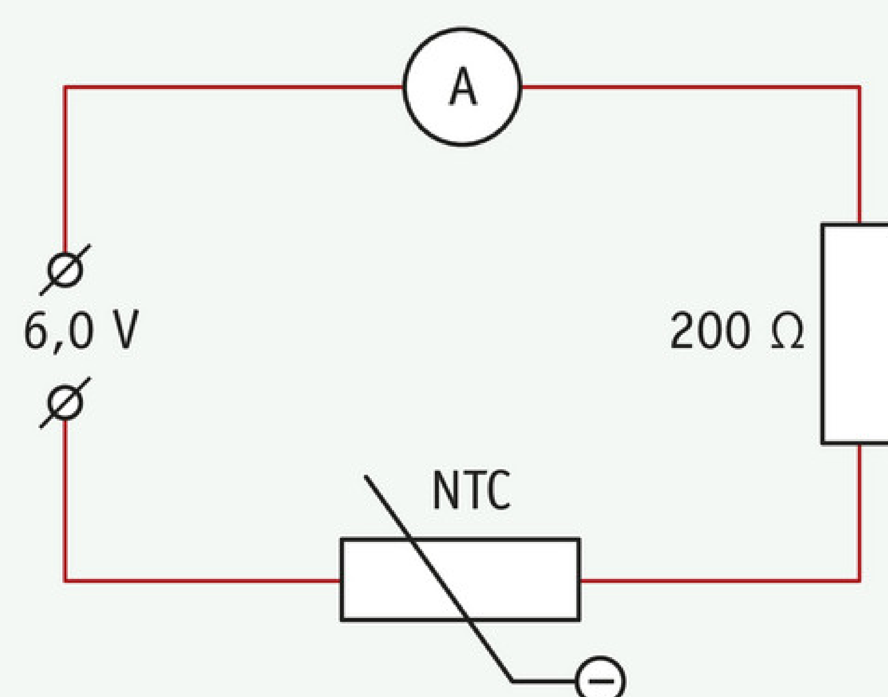
figuur 12 De weerstandscombinatie van Alisha.



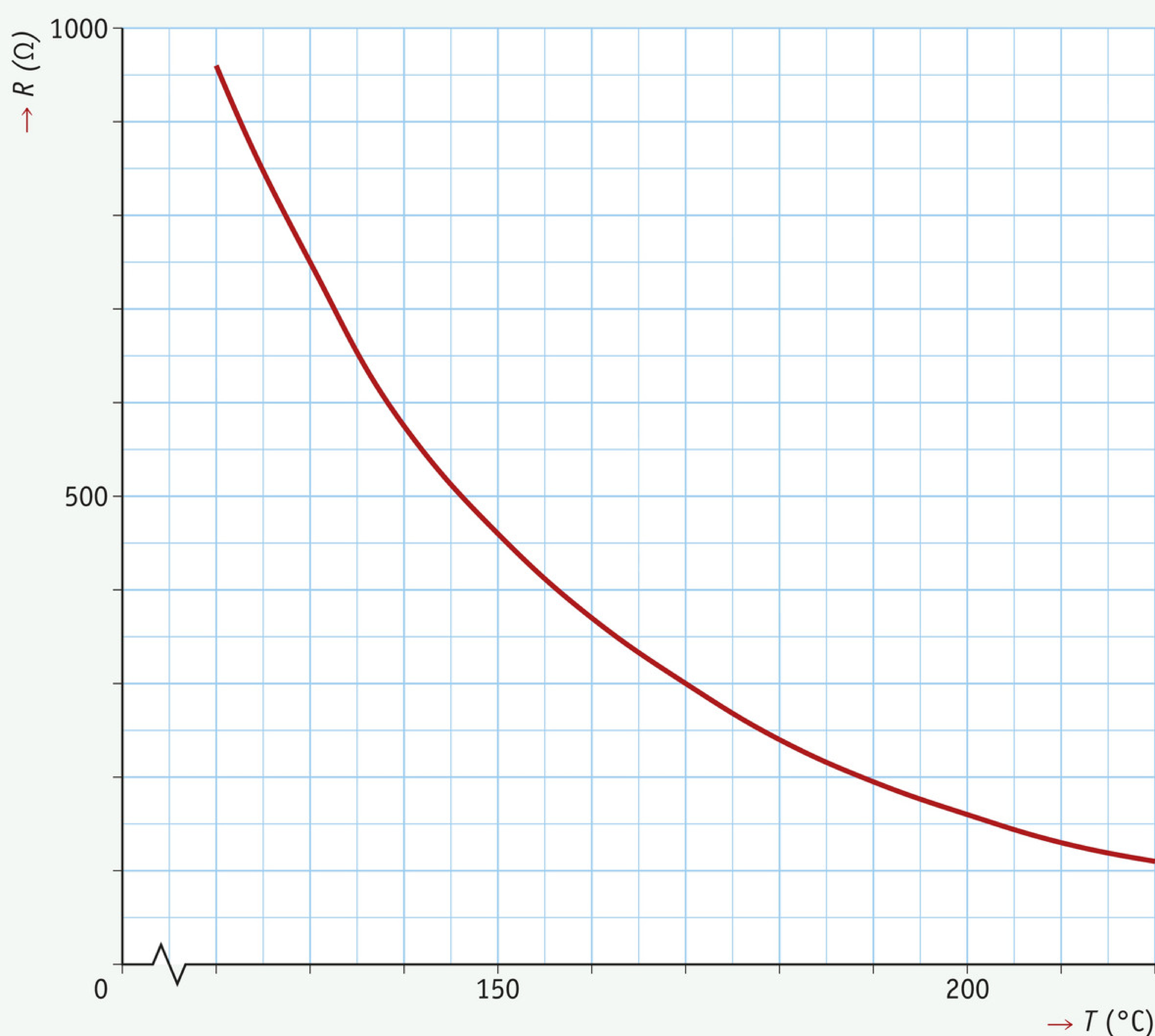
Test je kennis met de *Test jezelf.*

PLUS DE TEMPERATUURSENSOR

11 In figuur 13 zie je een schakeling waarmee de temperatuur van de olie in een frituurpan wordt gemeten. In de grafiek van figuur 14 zie je hoe de weerstand van de NTC afhangt van de temperatuur.



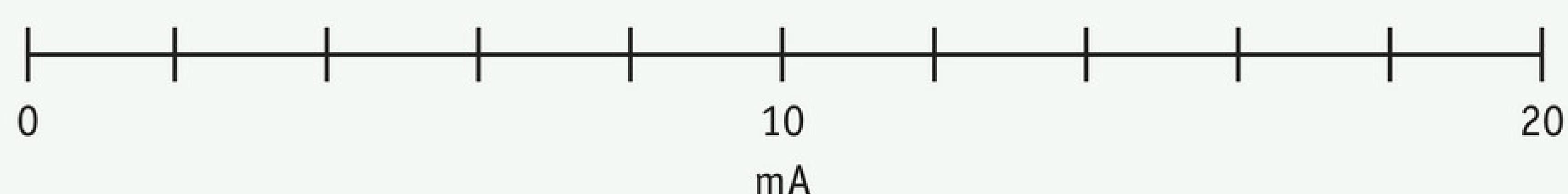
figuur 13 Met deze schakeling kun je de temperatuur in een frituurpan meten.



figuur 14 Verloop van de weerstandswaarde van een NTC tegen de temperatuur.

a Bereken de stroomsterkte in de schakeling als de temperatuur 190 °C is en als hij 170 °C is.

b In figuur 15 is de schaalverdeling van de gebruikte stroommeter getekend. Zet boven de schaalverdeling een indeling in graden Celsius. Het is voldoende als je de twee gevonden temperaturen erbij zet.



figuur 15 Een schaalverdeling.

c Waarom is er een weerstand in serie geschakeld met de NTC?

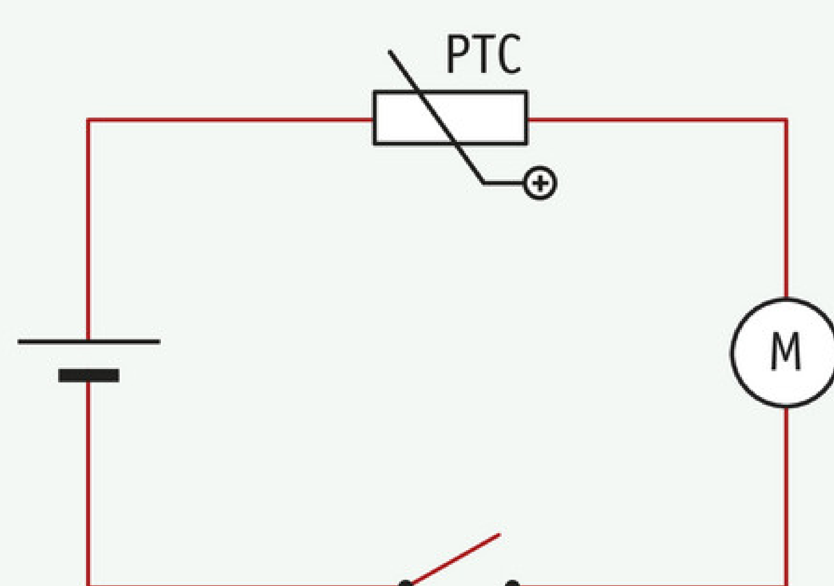
d Wietske wil ook een schaalverdeling maken, maar zij wil gebruikmaken van een spanningsmeter in plaats van een stroommeter. Ze wil ervoor zorgen dat een hogere temperatuur overeenkomt met een hogere uitslag van de spanningsmeter. Ze twijfelt of ze de spanningsmeter over de vaste weerstand (200 Ω) moet schakelen, of juist over de NTC.

Kies steeds het juiste alternatief.
Als de temperatuur hoger wordt, *stijgt* / *daalt* de weerstand van de NTC.
Hierdoor neemt de totale weerstand in de schakeling *toe* / *af*.
De stroomsterkte in de schakeling *stijgt* / *daalt* daardoor.
Hierdoor neemt de spanning over de vaste weerstand (200 Ω) *toe* / *af* en de spanning over de NTC *toe* / *af*.
Wietske moet de spanningsmeter dus over de *NTC* / *vaste weerstand* schakelen.

12 Een elektromotor in een ventilator kan snel stukgaan als je de ventilator per ongeluk blokkeert. Op dat moment kan er een te grote stroom door de motor gaan lopen. In figuur 16 zie je hoe je een PTC kunt gebruiken om de motor te beschermen.

a Leg uit hoe de PTC de motor beschermt op het moment dat de stroomsterkte in de schakeling plotseling toeneemt doordat de motor wordt geblokkeerd.

b Astrid schakelt de geblokkeerde ventilator in. Hierdoor loopt er een grote stroom door de schakeling in figuur 16. Stel dat de geblokkeerde elektromotor een constante weerstand heeft. Leg uit wat er dan met de spanning over de PTC en de motor gebeurt vanaf het moment dat deze grote stroom door de schakeling loopt.



figuur 16 Een PTC beschermt de elektromotor.

4 Automatische schakelingen

LEERDOELEN

5.4.1 Je kunt de drie delen van een automatische schakeling beschrijven.
5.4.2 Je kunt de werking van een transistor beschrijven.
5.4.3 Je kunt de werking uitleggen van eenvoudige schakelingen met een transistor.
PLUS 5.4.4 Je kunt het gebruik van een diode in schakelingen uitleggen.

Veel auto's hebben een inbraakalarm. Als een autodief probeert de deuren te forceren, begint een sirene te loeien en gaan de knipperlichten aan. Vaak activeert zo'n alarm ook een startonderbreking en blokkeert het de brandstofvoorziening. Dit is allemaal mogelijk dankzij schakelingen die een gevaar detecteren en daarop reageren.

SENSOR – SCHAKELAAR – ACTUATOR

Veel mensen hebben een buitenlamp die vanzelf aan- en uitgaat. Zo'n lamp wordt bediend door een automatische schakeling die uit drie delen bestaat: een sensor, een schakelaar en een actuator.

Elk onderdeel van de schakeling heeft een functie.

- De **sensor** produceert een elektrisch signaal dat informatie geeft over de omgeving. Zo 'vertelt' hij aan de schakelaar of er in de omgeving iets verandert.
- De **schakelaar** reageert op de informatie van de sensor. Als het signaal van de sensor daar aanleiding voor geeft, schakelt hij de stroom in of juist uit.
- De **actuator** doet iets wat op dat moment gewenst is: een lamp gaat branden, een sirene begint te loeien, een motor slaat aan, enzovoort (figuur 1).



figuur 1 De schakeling in een rookmelder reageert al op een kleine hoeveelheid rook.

In sommige buitenlampen zit een sensor die reageert op de hoeveelheid licht. Als het donker wordt, verandert het signaal van de sensor. Een schakelaar in de lamp schakelt dan de lamp in. Er zijn ook buitenlampen die aangaan als er iemand voorbijkomt. In zo'n lamp wordt een infrarooddetector als sensor gebruikt. Deze sensor reageert op de infrarode straling die door mensen en dieren wordt uitgezonden.

DE WERKING VAN EEN TRANSISTOR

In veel automatische schakelingen wordt de actuator aan- en uitgezet door een **transistor**. Zo'n transistor functioneert in dat geval als een automatische schakelaar. Zoals je in figuur 2 kunt zien, heeft een transistor drie aansluitpunten:

- de **collector** (C)
- de **basis** (B)
- de **emitter** (E)

figuur 2 Een transistor (a) met het bijbehorende symbool (b).

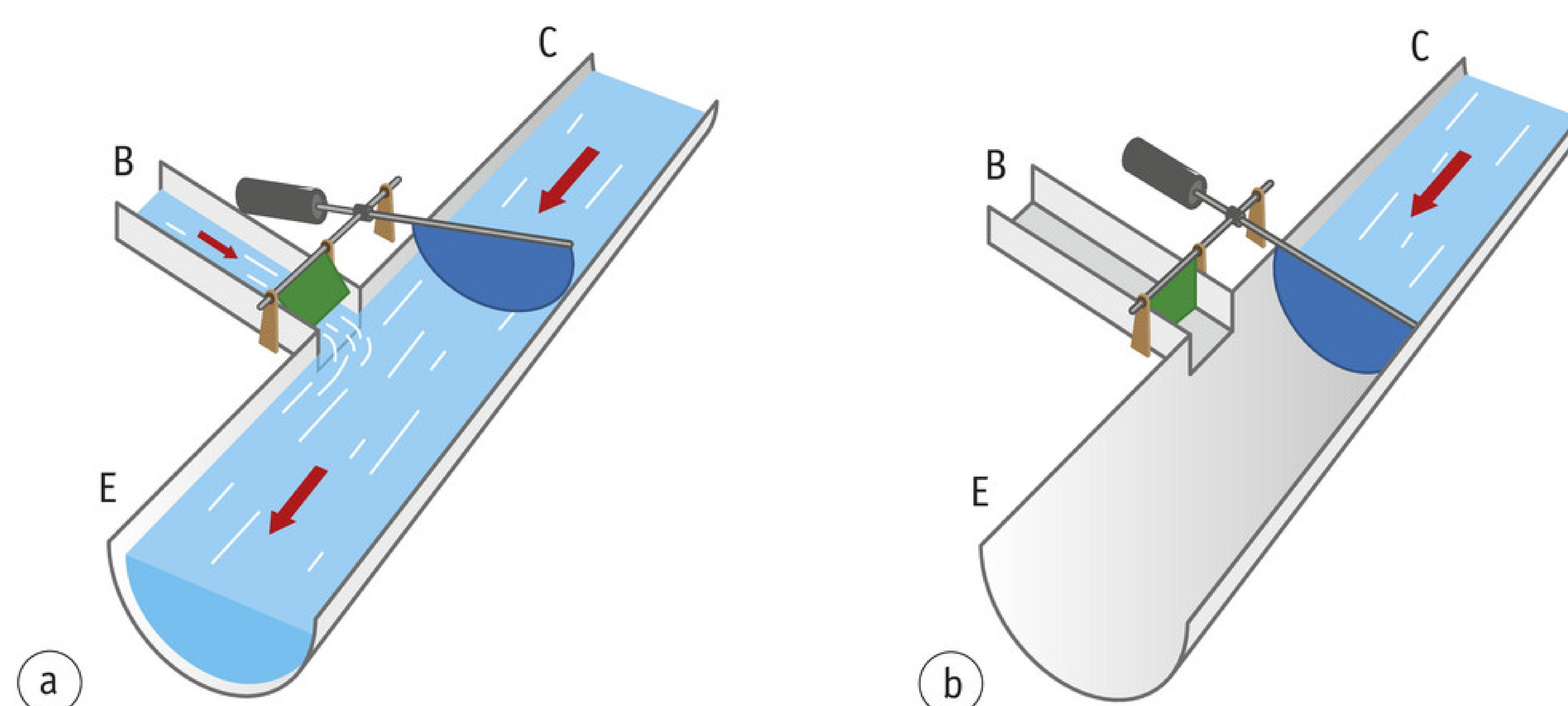


Je kunt de werking van een transistor vergelijken met die van een slagboom. Zoals een slagboom het verkeer op een weg doorlaat of juist tegenhoudt, zo doet een transistor dat met de stroom naar een apparaat.

In de AAN-stand laat de transistor de stroom door, in de UIT-stand houdt hij de stroom tegen.

- De transistor staat in de AAN-stand als er een stroom loopt van de basis (B) naar de emitter (E). Er kan dan een veel grotere stroom lopen van de collector (C) naar de emitter (figuur 3a).
- De transistor staat in de UIT-stand als er geen of maar heel weinig stroom van de basis naar de emitter loopt. Er kan dan geen stroom lopen van de collector naar de emitter (figuur 3b).

figuur 3 Een schematische weergave van een transistor in de AAN-stand (a) en de UIT-stand (b).



Je gebruikt dus een klein 'schakelstroompje' (via B naar E) om een veel grotere 'apparaatstroom' (via C naar E) in en uit te schakelen. Een transistor kan gemakkelijk kapotgaan als deze stromen te groot worden. Daarom worden in schakelingen met transistors vaak ook een of meer weerstanden opgenomen. Deze werken dan als stroombegrenzer.

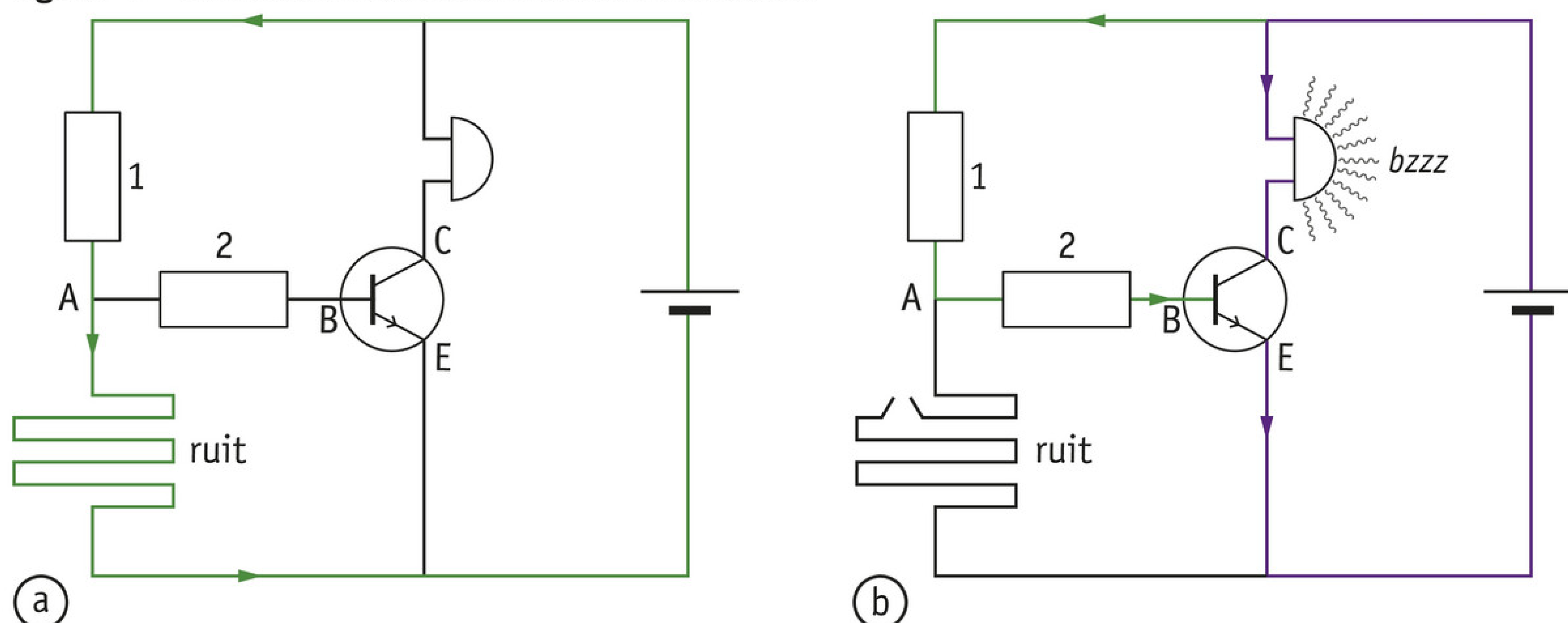
EEN INBRAAKALARM

In figuur 4 zie je een inbraakalarm met een draad op een ruit. In deze schakeling wordt een draad op de ruit als sensor gebruikt. Je ziet dat de stroom zich bij A in tweeën splitst (figuur 4a). Het grootste deel (meer dan 99,9%) loopt via de draad op de ruit terug naar de batterij. Door de basis die een veel grotere weerstand heeft loopt nauwelijks stroom.

De grootte van de schakelstroom via de basis is het signaal waarop de transistor reageert. Zolang de draad op de ruit (onder A) heel blijft, is die schakelstroom heel klein en blijft de transistor in de UIT-stand staan. Er loopt dan geen stroom van C naar E. De zoemer staat uit. De weerstanden 1 en 2 zorgen ervoor dat de stromen die er wel lopen, zo klein mogelijk zijn.

In figuur 4b heeft iemand de ruit ingeslagen en is de draad op de ruit kapotgegaan. De stroom kan nu alleen via de basis teruglopen naar de batterij. De schakelstroom van B naar E neemt hierdoor sterk toe. De transistor reageert op dit signaal door naar de AAN-stand te schakelen. Er kan nu een flinke stroom van C naar E lopen: de zoemer gaat aan.

figuur 4 Een alarminstallatie met een transistor.



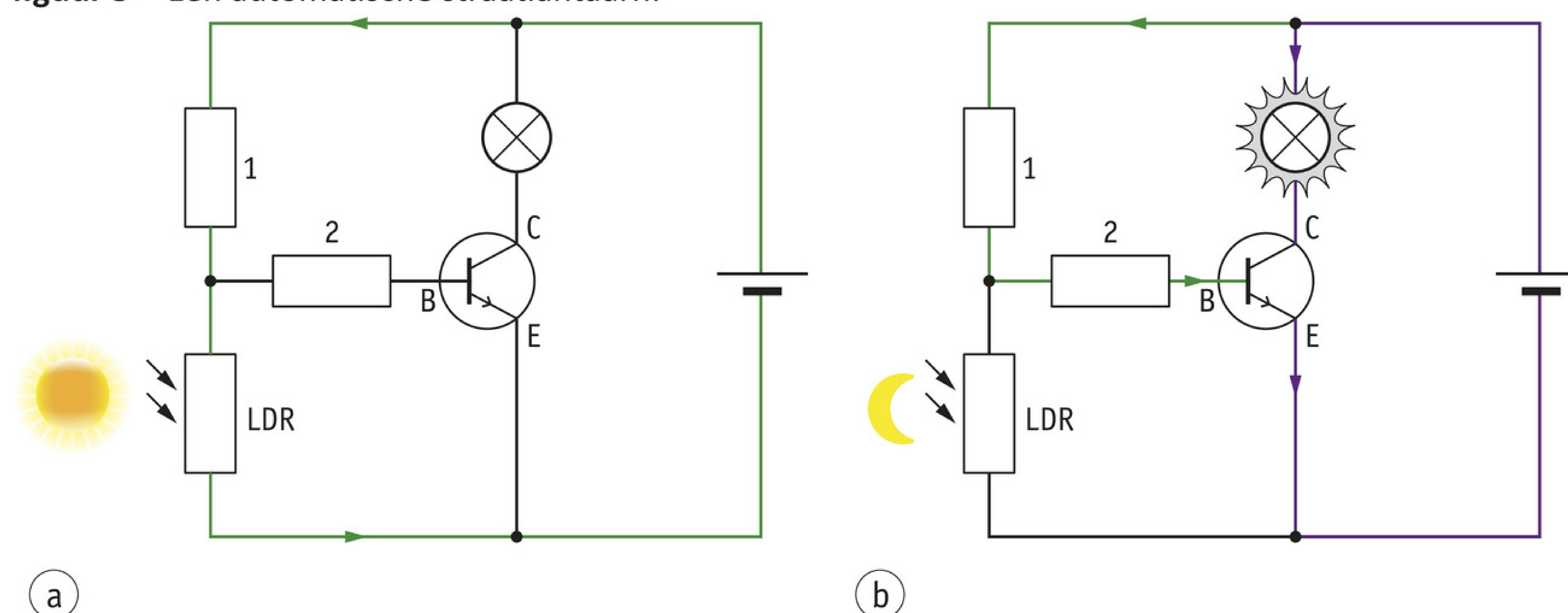
DE AUTOMATISCHE STRAATLANTAARN

Met een transistor kun je ook een automatische straatlantaarn bouwen. In de schakeling van figuur 4a vervang je daarvoor twee dingen: de draad op de ruit wordt vervangen door een LDR en de zoemer door een lamp.

In figuur 5a zie je het resultaat. Als het licht is, is de weerstand van de LDR klein. Bijna alle stroom loopt dan via de LDR en dus niet via de basis van de transistor. De transistor blijft in de UIT-stand staan: de lamp brandt niet.

Als het donker wordt, neemt de weerstand van de LDR toe. Daardoor zal er steeds meer stroom door de basis van de transistor gaan lopen. Er loopt nu ook steeds meer stroom door de lamp. Als het helemaal donker is, brandt de lamp op volle sterkte (figuur 5b).

figuur 5 Een automatische straatlantaarn.



PLUS DE DIODE

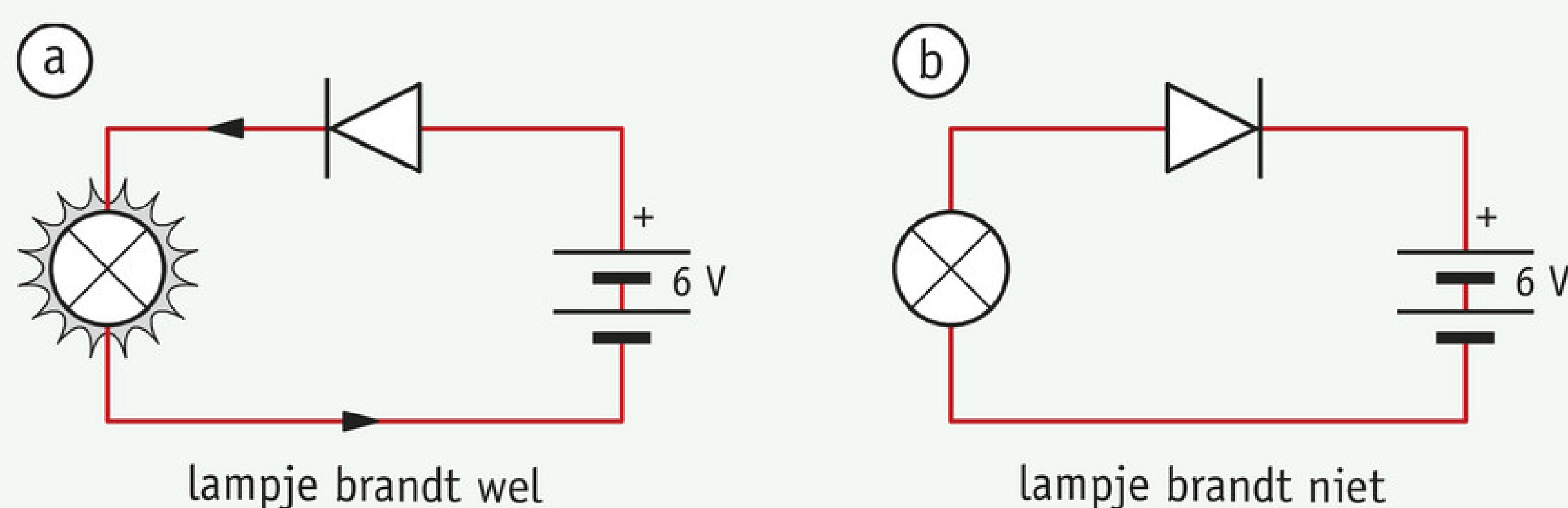
In een computer of televisie vind je behalve weerstanden ook veel diodes. Een **diode** is een bijzonder soort weerstand: de stroom kan maar in één richting door de diode lopen. In figuur 6a zie je het symbool voor een diode. Als de stroom in de richting van de pijl loopt, staat de diode in de doorlaatrichting. De diode heeft dan een zeer lage weerstand en de stroom kan er dan ongehinderd doorheen lopen (figuur 7a).
In de omgekeerde richting heeft de diode juist een zeer hoge weerstand (figuur 7b). Je zegt dan dat de diode in de sperrichting is geschakeld.

figuur 6 Het symbool van een diode (a) en van een led (b).



Diodes worden gebruikt om wisselspanningen om te zetten in gelijkstroom. Ook kun je diodes gebruiken om elektronische schakelingen en componenten te beschermen tegen het verkeerd aansluiten van een spanningsbron als je de plus en min per ongeluk verwisselt.
Lichtgevende diodes (ledlampjes, *light emitting diodes*) vind je in allerlei elektrische apparaten, bijvoorbeeld als waarschuwingslampje (figuur 6b). Omdat ze energiezuinig zijn, worden ze ook steeds meer gebruikt als vervanging van gloei- en spaarlampen.

figuur 7 Zo werkt een diode.



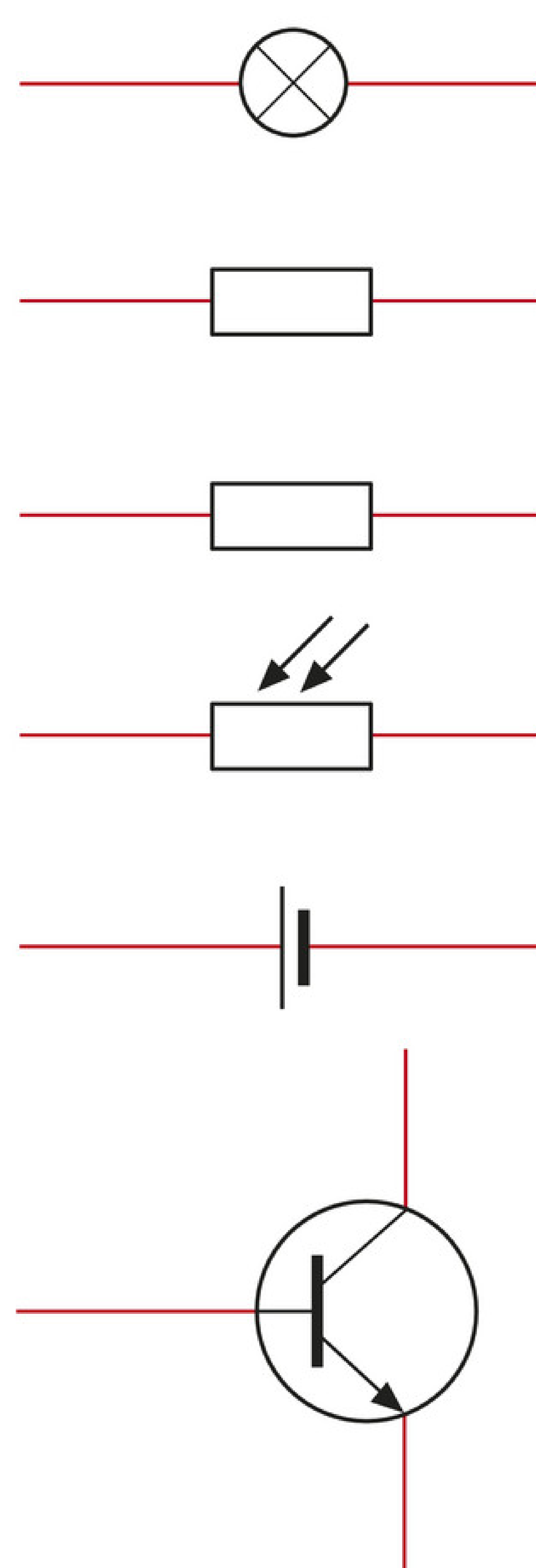
Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

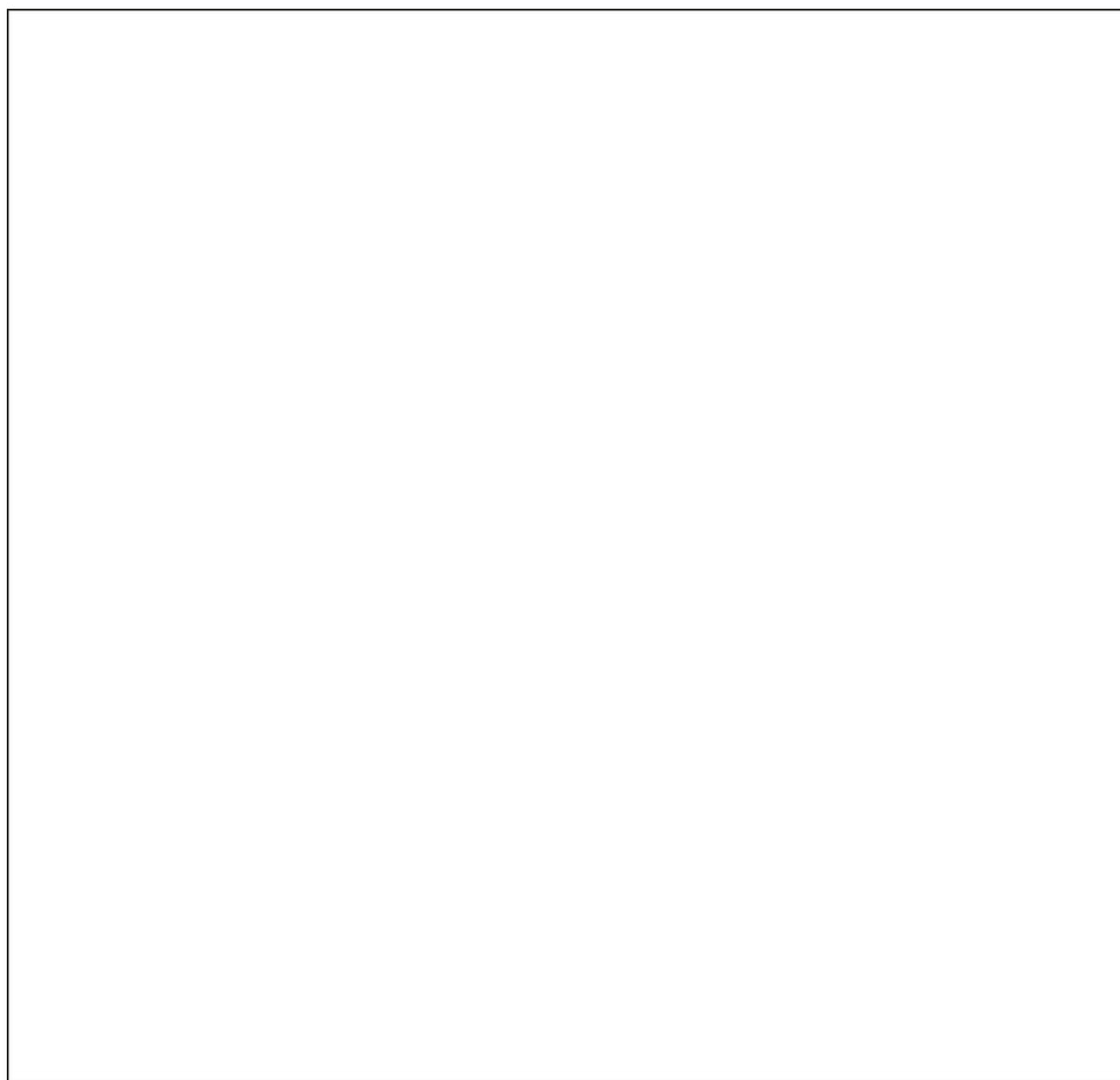
LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke functie heeft de transistor in een inbraakalarm?
b Hoe heten de drie aansluitpunten van een transistor?
c Wanneer laat een transistor de ‘apparaatstroom’ door?
d Wanneer houdt een transistor de ‘apparaatstroom’ tegen?

2 Met de zes onderdelen in figuur 8 en wat snoertjes kun je een model bouwen van een automatische straatlantaarn.
Teken het schakelschema van deze schakeling.





figuur 8 De onderdelen voor een automatische straatlantaarn.

TOEPASSING

3 Trek een lijn van de functie naar de juiste onderdelen.

functie

A sensor ◯
B schakelaar ◯
C actuator ◯

onderdelen

◯ 1 elektromotor
◯ 2 LDR
◯ 3 ledlampje
◯ 4 NTC
◯ 5 transistor
◯ 6 zoemer

4 Je kunt in een woonhuis verschillende automatische schakelingen tegenkomen.

a De automatische schakeling die de spanning op een groep uitschakelt als er ergens in huis kortsluiting of overbelasting is ontstaan, is de ....

b De automatische schakeling die de cv-installatie aanzet als de temperatuur in de woonkamer onder de ingestelde waarde daalt, is de ....

c De automatische schakeling die de bewoners waarschuwt voor brand als er rook is in huis, is de ....

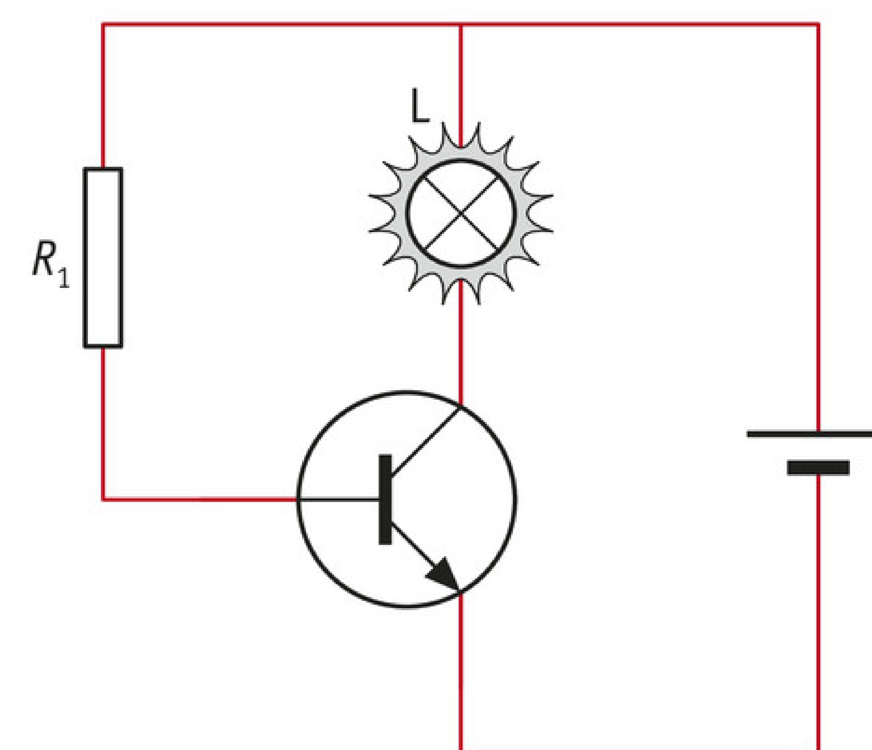
d De automatische schakeling die de verlichting ’s avonds enkele uren laat branden, zodat het lijkt alsof de bewoners thuis zijn, is de ....

5 Fida heeft een testschakeling met een transistor gemaakt (figuur 9).

a Zet in de figuur een B bij de basis, een C bij de collector en een E bij de emitter van de transistor.

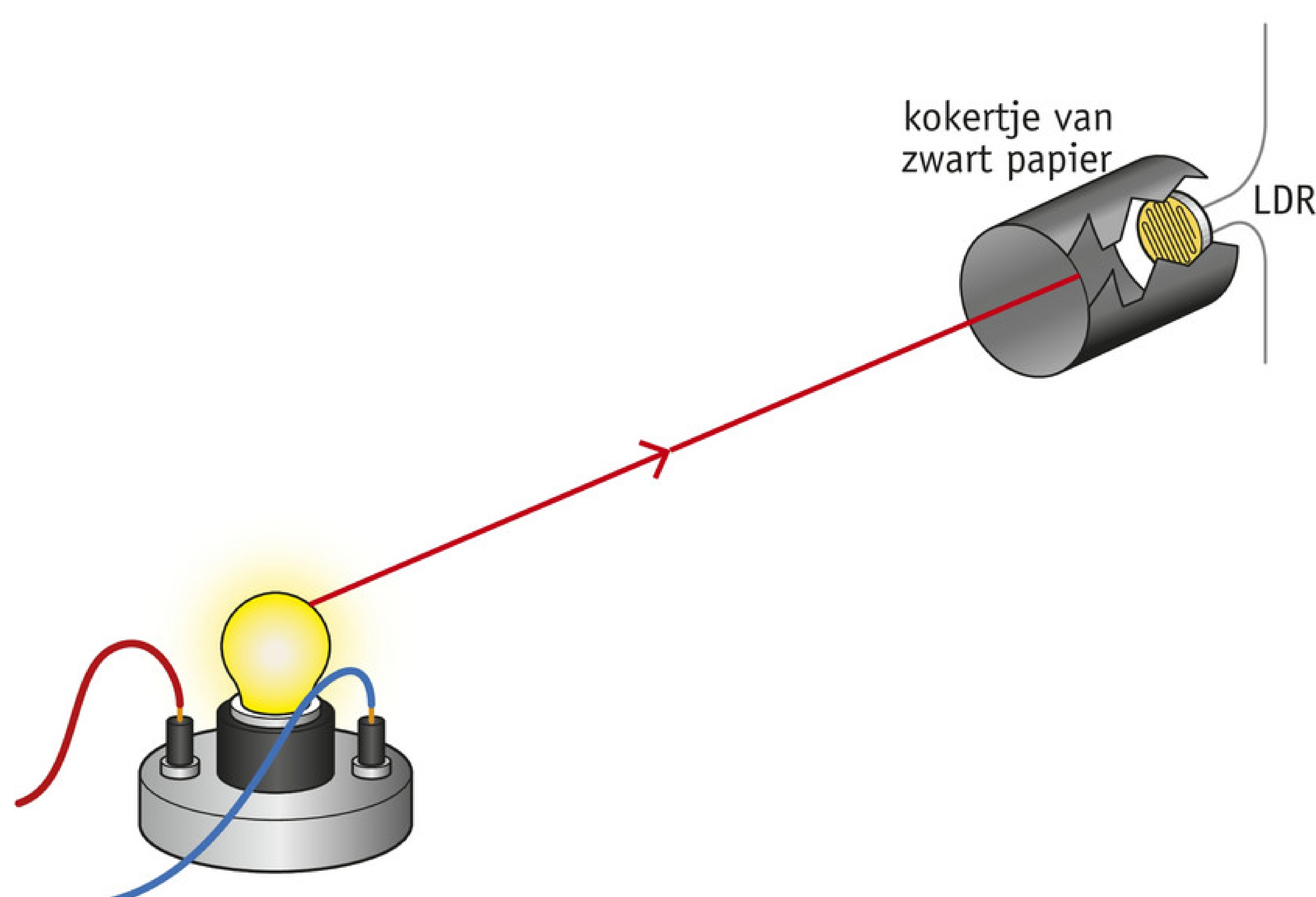
b Leg uit welke stroomsterkte het grootst is: die door het lampje of die door de weerstand?

c Fida vervangt de gewone weerstand R_1 door een lichtgevoelige LDR. Als ze haar hand over deze LDR legt, gaat het lampje uit.
Leg uit waarom het lampje dan uitgaat. Geef in je antwoord aan wat er gebeurt met de stroomsterkte door de basis.



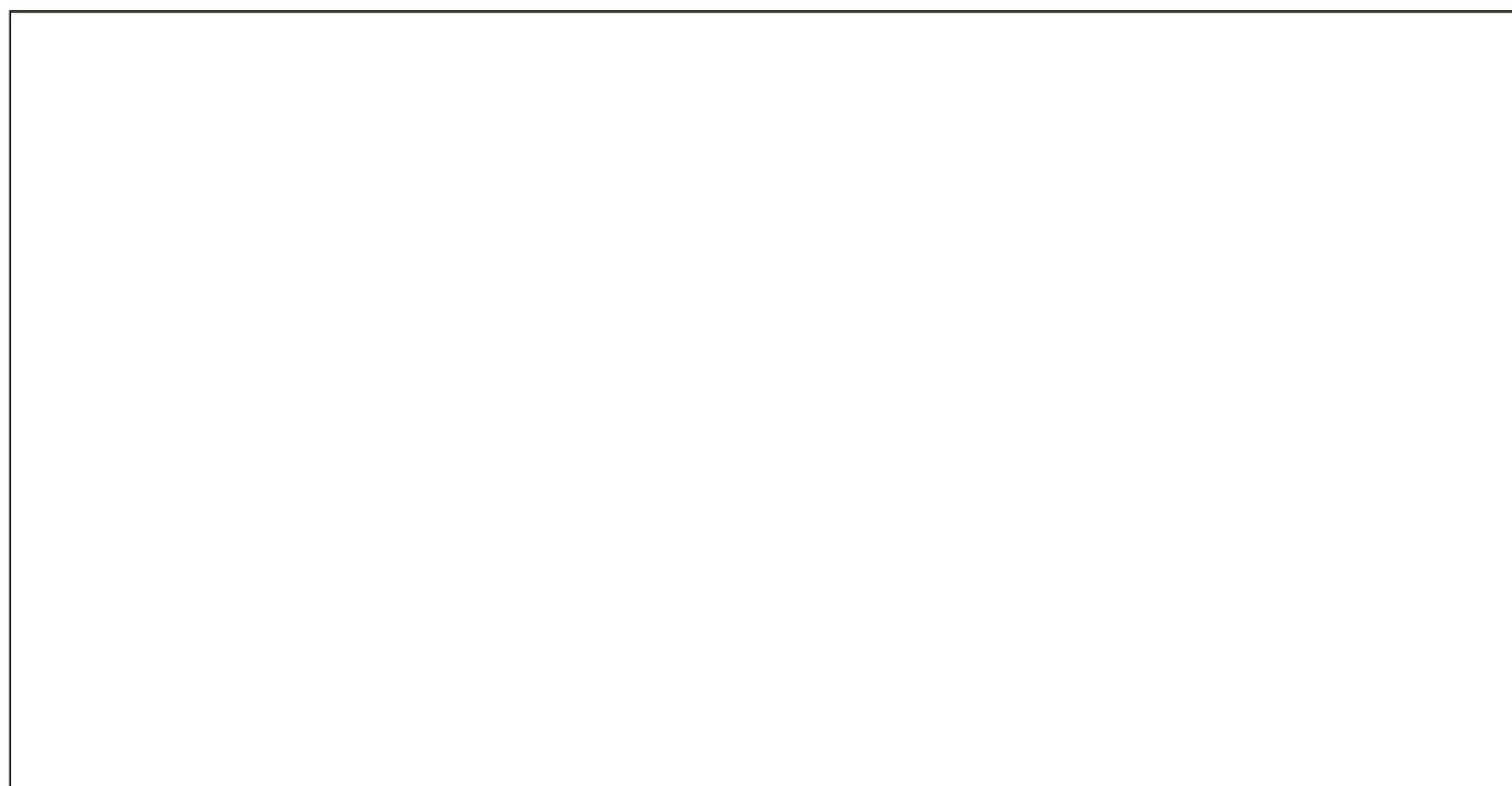
figuur 9 Fida's schakeling.

6 In een bepaald type inbraakalarm wordt een lichtpoort gebruikt om mensen te detecteren. Zo'n lichtpoort bestaat uit een lichtsensor en een lichtbron die een smalle lichtbundel produceert. Als iemand de lichtstraal onderbreekt, signaleert de sensor dat. In figuur 10 is een model van zo'n lichtpoort getekend.



figuur 10 Een model van een lichtpoort.

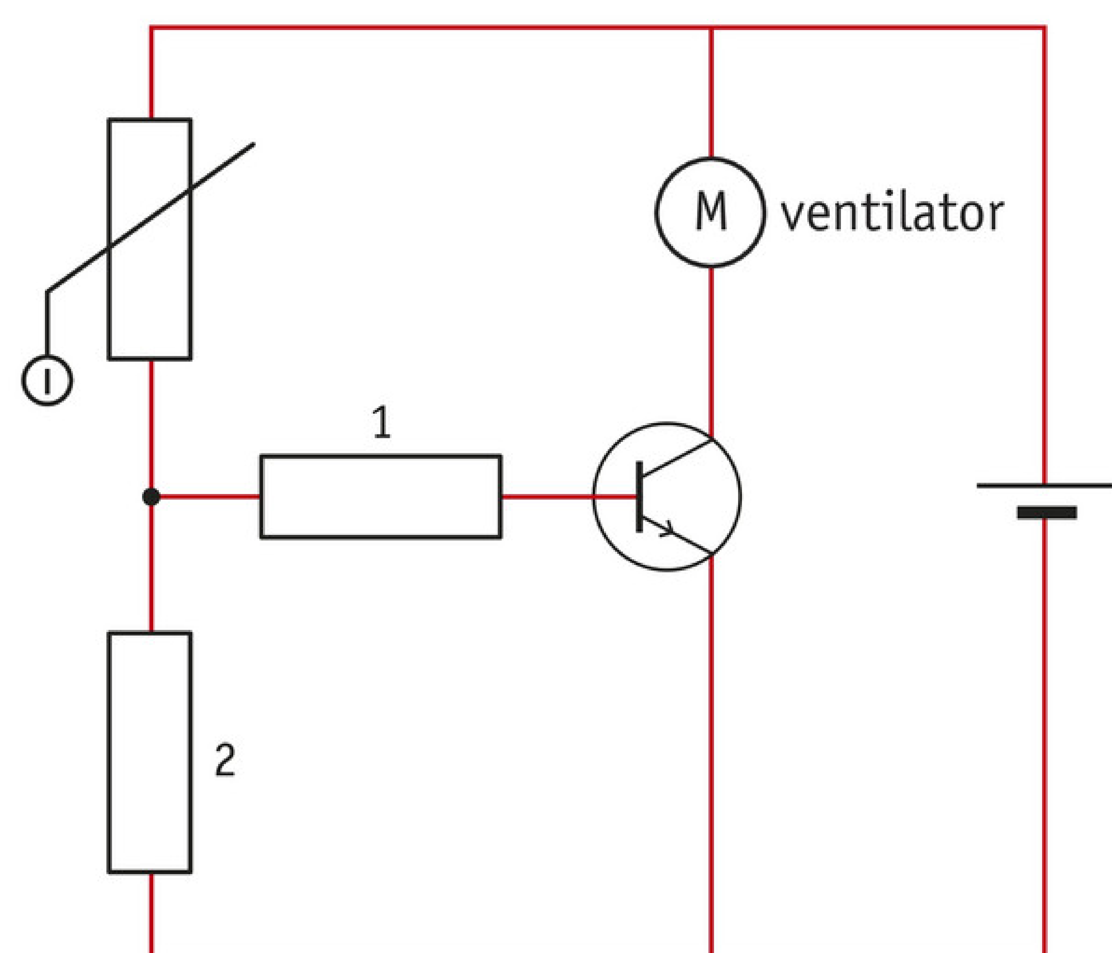
a Ontwerp een eenvoudig inbraakalarm dat een zoemer laat afgaan als de lichtstraal wordt onderbroken. Teken het schakelschema van het alarm.



b Je kunt dit alarm ook bouwen met een infraroodlaser en een infraroodsensor.
Leg uit welk voordeel het gebruik van infraroodstraling voor een inbraakalarm heeft.

7 Computerchips kunnen erg heet worden. Daarom hebben de meeste computers een ventilator die koele lucht over de chips heen blaast. De schakeling in figuur 11 kan het toerental van zo'n ventilator automatisch regelen.

- **a** Leg uit welk schakelonderdeel in deze schakeling functioneert als sensor.
- **b** Hoe reageert deze sensor op een stijging van de temperatuur?
- **c** Hoe verandert de schakelstroom door de transistor in dat geval?
- **d** Leg uit hoe het komt dat de ventilator dan begint te draaien.



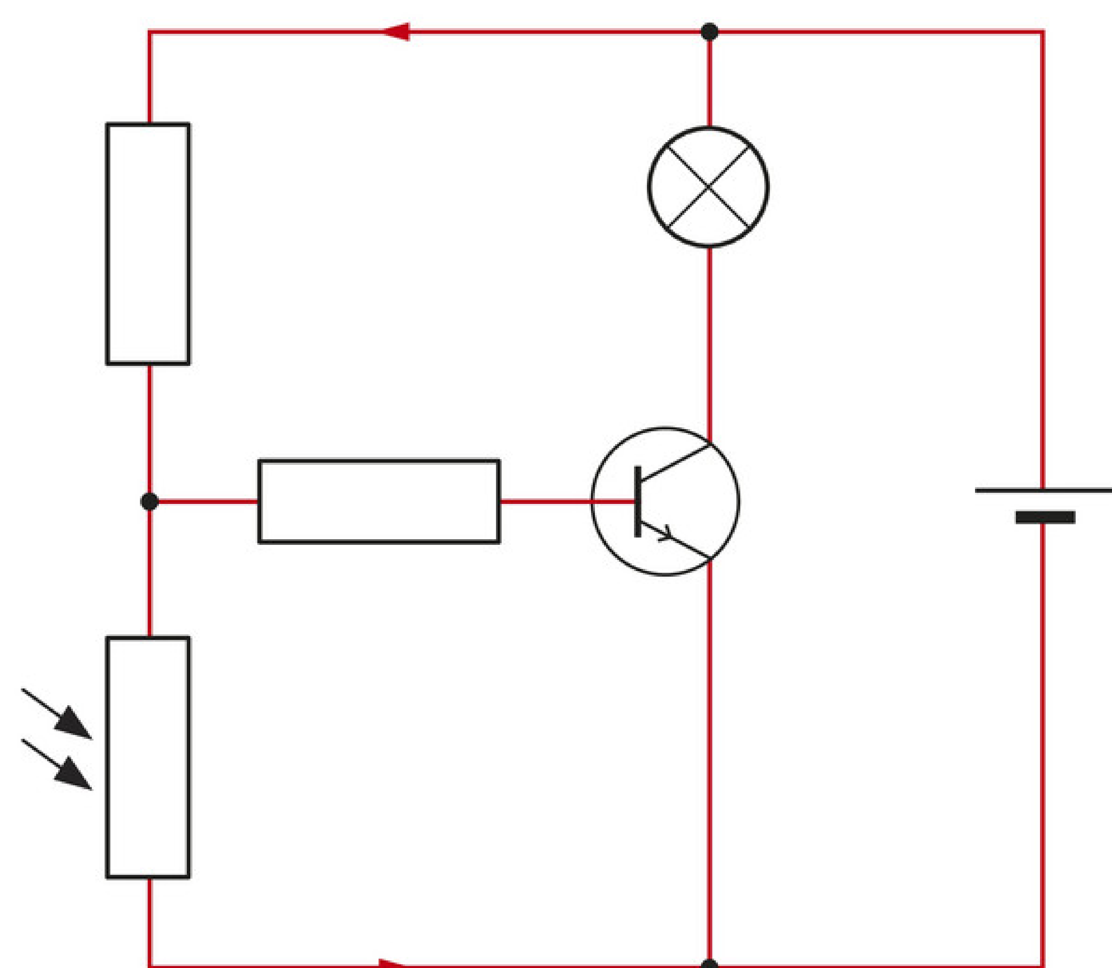
figuur 11 Een ventilator die rekening houdt met de temperatuur.

8 In de schakeling in figuur 11 zijn twee weerstanden gebruikt: weerstand 1 en weerstand 2.

- **a** Welke weerstand dient om de stroomsterkte door de sensor te begrenzen?
- **b** Welke stroomsterkte wordt door de andere weerstand begrensd?

★ 9 De schakeling in figuur 5 heeft een nadeel: je kunt de verlichting niet aandoen als het nog licht is. Met een gewone schakelaar en twee draden kun je dat probleem oplossen.

- **a** Leg uit of je de transistor en de gewone schakelaar daarvoor in serie of parallel moet schakelen.
- **b** Teken het schakelschema van de aangepaste schakeling waarmee je de verlichting ook overdag kunt aanzetten.

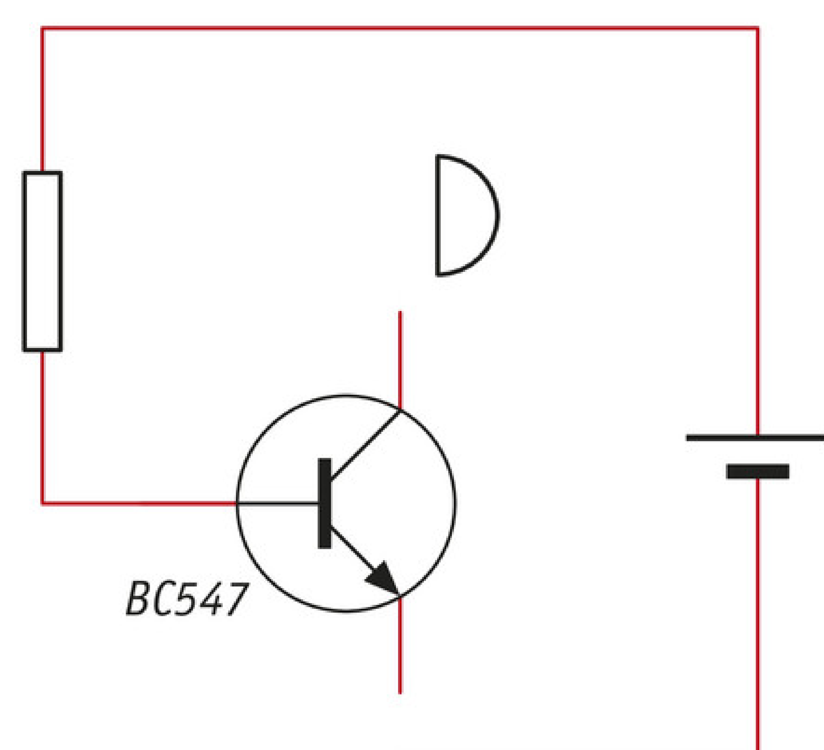


★ 10 Een veelgebruikte transistor is de BC547. De BC547 heeft een versterkingsfactor van 250. Dat wil zeggen dat de collectorstroom 250× zo groot is als de basisstroom. De BC547 kan dus met een kleine basisstroom (van B naar E) een veel grotere collectorstroom (van C naar E) doorlaten.

a Hoe groot is de collectorstroom als de basisstroom 0,20 mA is?

b Hoe groot is de basisstroom als de collectorstroom 80 mA is?

c Roos maakt een schakeling met een BC547 (figuur 12). Om de zoemer goed te laten werken, moet de stroomsterkte door de zoemer tussen de 70 en de 100 mA liggen. Hoe groot moet de basisstroom minstens zijn om de zoemer goed te laten werken?



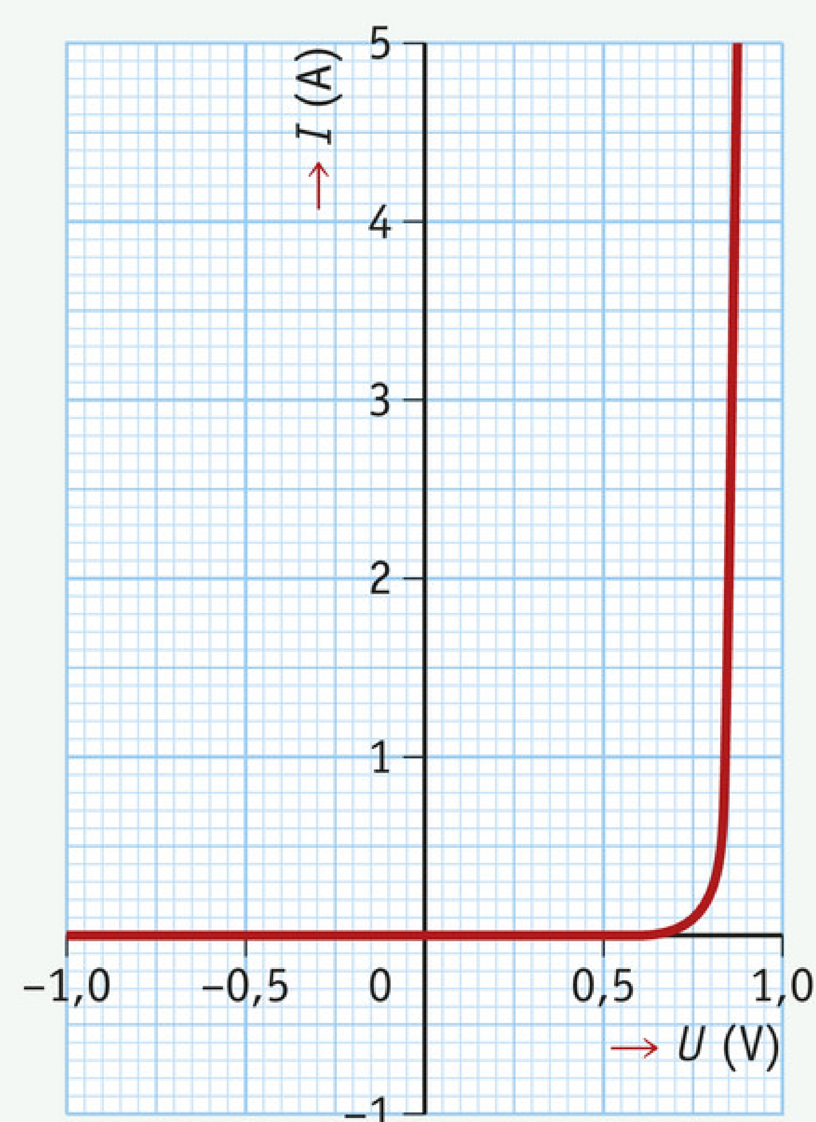
figuur 12 Een schakeling met een BC547-transistor.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE DIODE

11 Een diode heeft twee aansluitpunten. In figuur 13 zie je het (I,U)-diagram van een diode.



figuur 13 Het (I,U)-diagram van een diode.

a Bij veel componenten maakt het niet uit hoe je ze in de schakeling inbouwt. Hoe blijkt uit het diagram dat dit voor de diode niet opgaat?

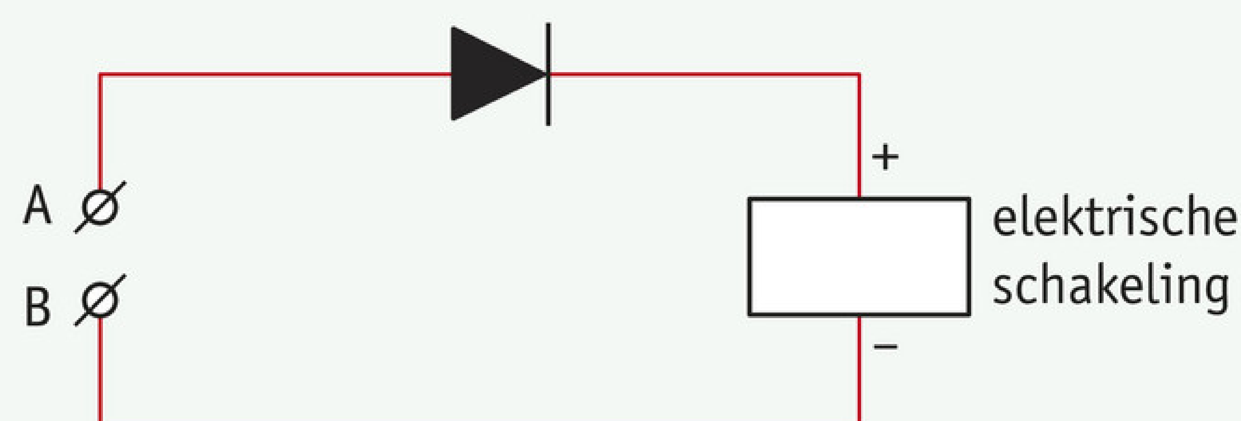
b Zoals je in figuur 13 ziet, geleidt de diode in de doorlaatrichting pas stroom vanaf een bepaalde waarde van de spanning. Wat kun je zeggen over de weerstand van deze diode als de spanning:
- groter is dan 0,85 V?
- kleiner is dan 0,85 V?

c De doorlaatspanning voor deze diode is gelijk aan 0,85 V. Leg in je eigen woorden uit wat met de doorlaatspanning wordt bedoeld.

d Leg uit dat je een diode kunt vergelijken met het ventiel van een fietsband.

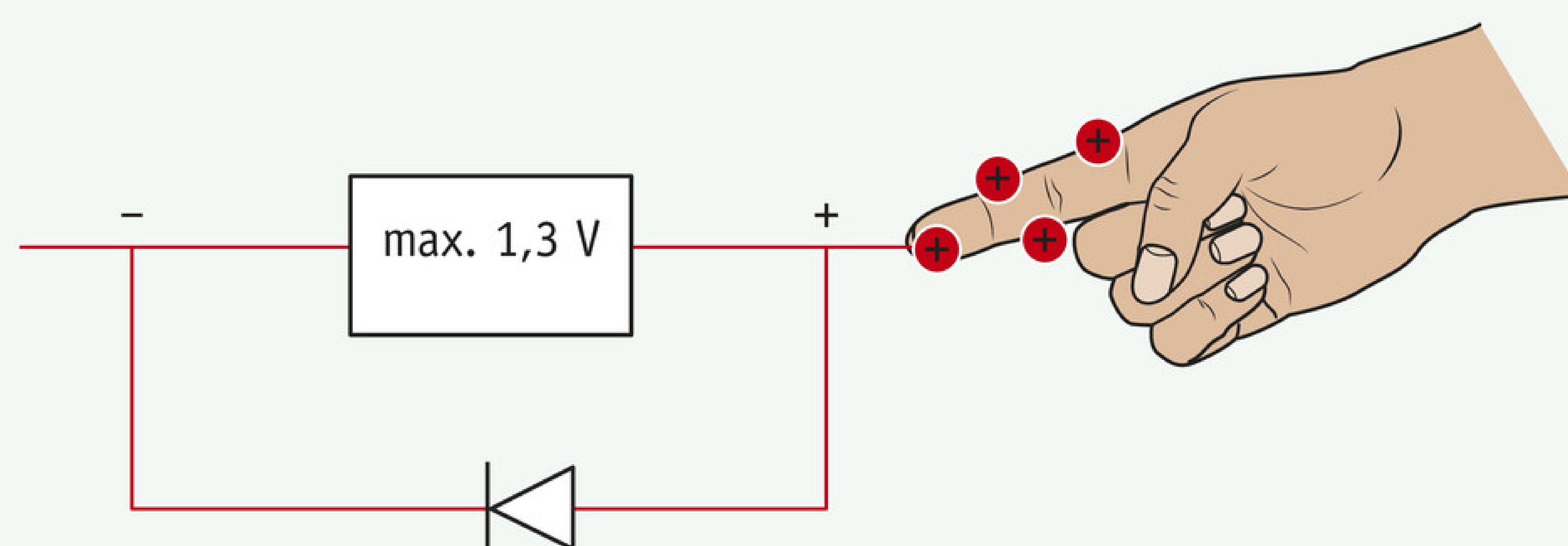
12 In figuur 14 zie je hoe je een diode kunt gebruiken om een schakeling te beschermen tegen het verkeerd aansluiten van een batterij. Sommige schakelingen en componenten kunnen namelijk kapotgaan als je plus en min van de batterij per ongeluk verwisselt. Joyce wil de schakeling van figuur 14 bouwen, maar sluit de batterij per ongeluk verkeerd aan. Ze verbindt de minpool van de batterij met punt A en de pluspool met punt B.

a Leg uit hoe de diode in dit geval de elektrische schakeling beschermt.



figuur 14 Bescherming door een diode.

b Als je statisch geladen bent en een computerchip aanraakt, kan deze kapotgaan. In figuur 15 zie je een vereenvoudigde weergave van een diodetoepassing waarbij deze een chip beveiligt tegen te hoge 'piekspanningen' als gevolg van statische elektriciteit. Voor de diode geldt ook het (I,U)-diagram van figuur 13.
Leg uit dat de spanning over de chip in dit geval niet hoger kan worden dan ongeveer 0,85 V als je de chip aanraakt terwijl je statisch geladen bent.



figuur 15 Bescherming tegen statische elektriciteit.

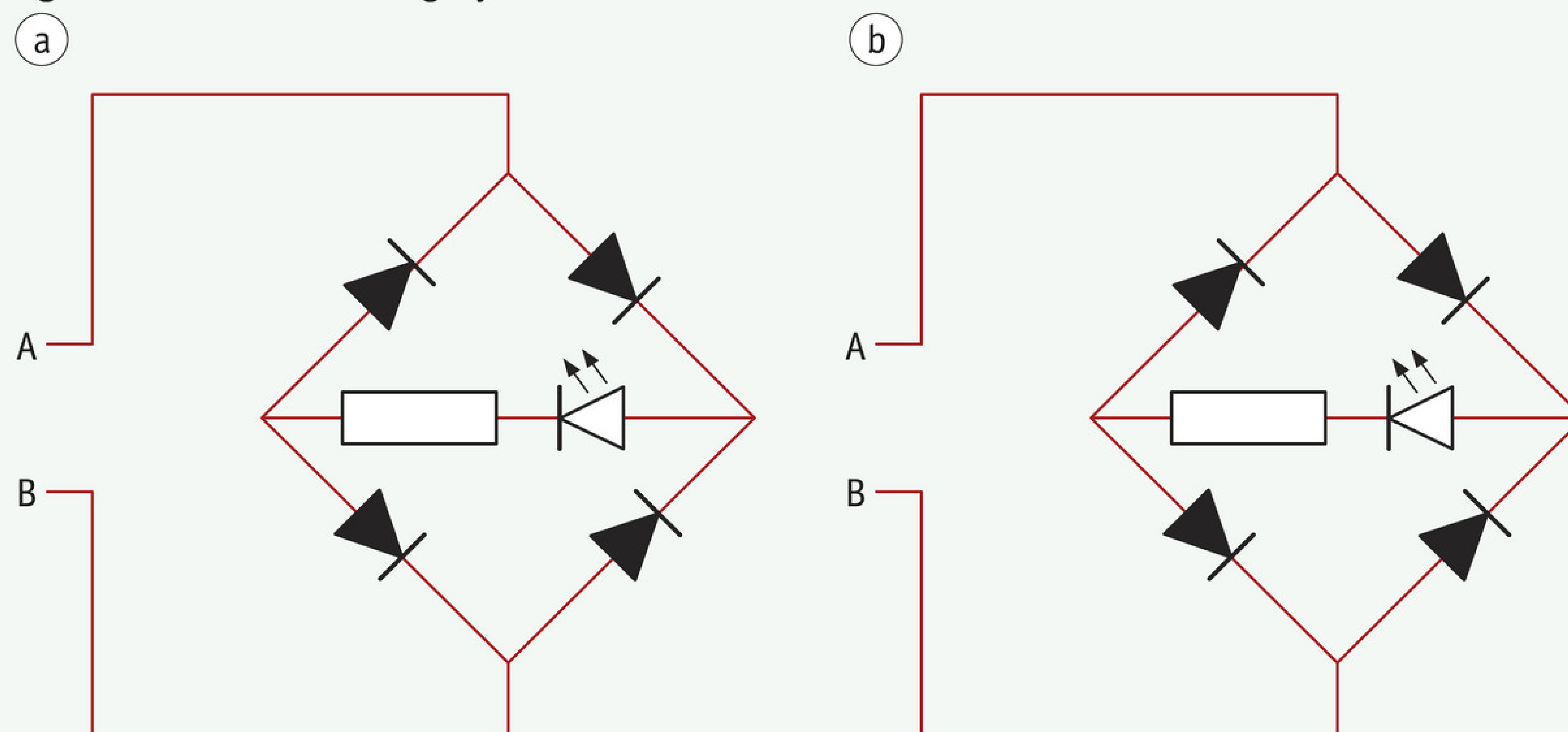
13

a In figuur 16 zie je een hoe een diode wordt gebruikt als gelijkrichter. Tussen punt A en B is een wisselspanning aangesloten. Punt A is tijdens deze momentopname de pluspool en punt B de minpool.
Teken in figuur 16a met een rode kleur het pad dat de stroom volgt vanaf punt A tot punt B.

b Even later is punt A de minpool en punt B de pluspool.
Teken in figuur 16b met een groene kleur het pad dat de stroom nu volgt vanaf punt A tot punt B.

c Leg uit hoe de schakeling werkt als gelijkrichter en waarom de led in zowel de situatie van opdracht a als b zal branden.

figuur 16 Zo werkt een gelijkrichter.



Practica

PROEF 1 HET (I,U)-DIAGRAM VAN EEN CONSTANTAANDRAAD

40 minuten

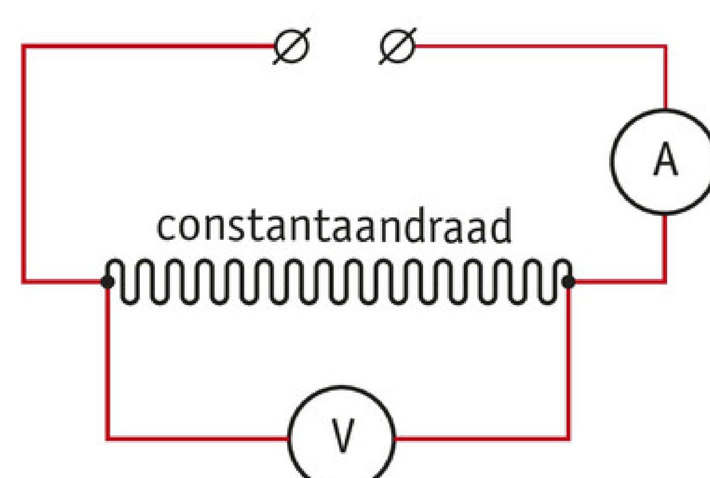
Inleiding
Als je de spanning in een schakeling verandert, verandert de stroomsterkte ook. Door metingen te doen, ontdek je hoe de stroomsterkte precies verandert. Je maakt de spanning stap voor stap groter en kijkt elke keer hoe groot de stroomsterkte dan wordt.

Doel
De onderzoeksvraag is:
Welk verband bestaat er tussen de stroomsterkte en de spanning bij een constantaandraad?

Nodig
- ☐ voedingskastje
- ☐ 5 snoeren
- ☐ stroommeter of multimeter
- ☐ spanningsmeter of multimeter
- ☐ constantaandraad

Uitvoeren en uitwerken
Meten
- Zie de vaardigheid *Werken met meetinstrumenten*.
- Maak de schakeling van figuur 1.

Meer oefening nodig met *Elektrische schakelingen maken*? Ga naar de *Vaardigheidstrainer*.



figuur 1 De schakeling van proef 1.

- Stel de spanning in op 0 V voordat je de voeding aanzet.
- Maak de spanning steeds 0,5 V hoger en meet de bijbehorende stroomsterkte door de draad. Ga hiermee door tot de spanning 3,0 V is.

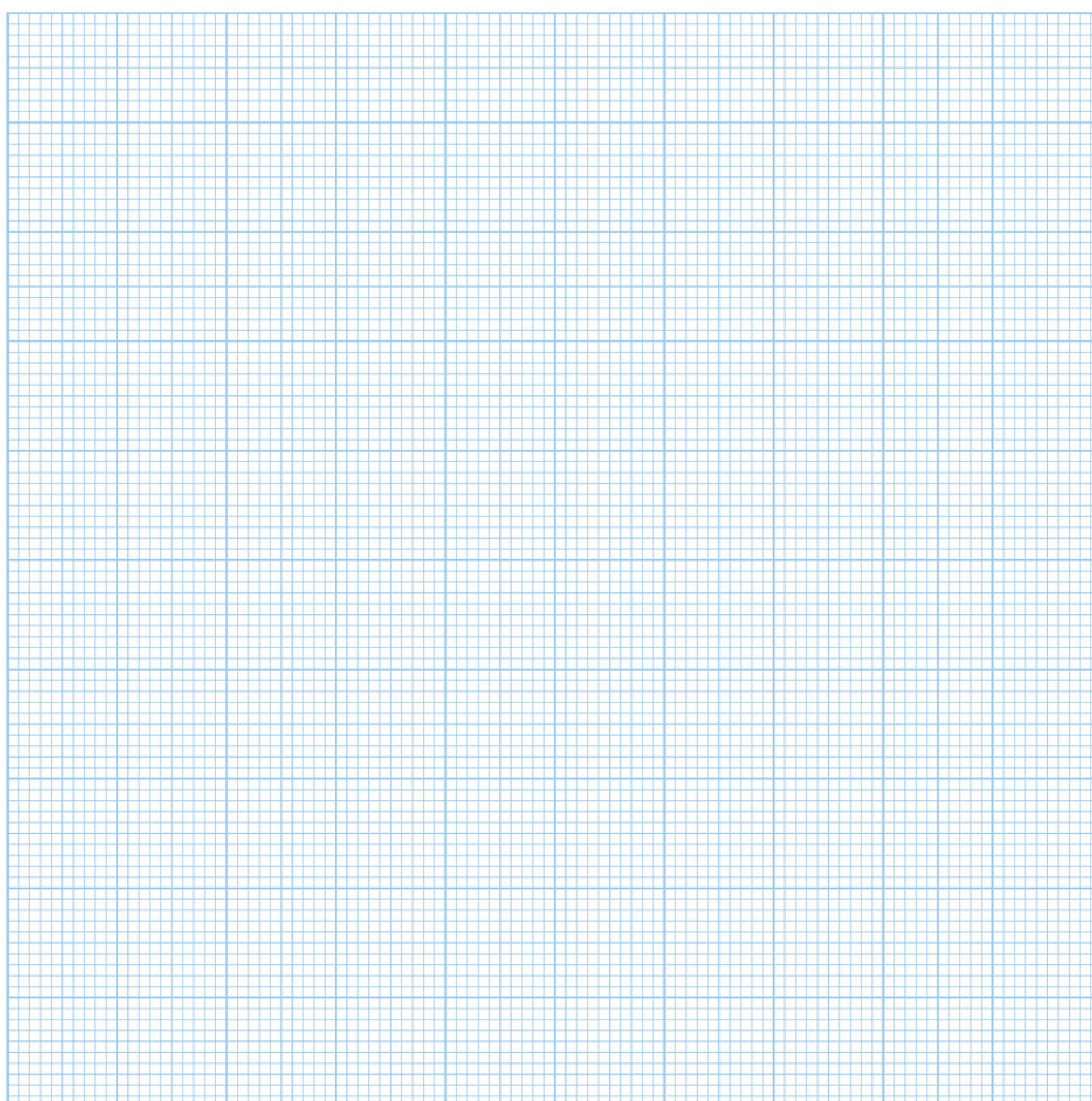
1 Noteer je meetgegevens op de juiste plaats in tabel 1.

tabel 1 De meetresultaten van proef 1.

spanning (V)	stroomsterkte (A)	weerstand (Ω)
0		
0,5		
1,0		
1,5		
2,0		
2,5		
3,0		

Uitwerken

2 Verwerk in figuur 2 je meetresultaten tot een grafiek in een (I,U)-diagram.



figuur 2 Het verband tussen de stroomsterkte *door* en de spanning *over* een constantaandraad.

3 Wat kun je zeggen over het verband tussen de spanning *over* en de stroom *door* de draad?

....

....

....

....

4 Bereken hoe groot de weerstand van de draad bij elke meting was. Noteer de uitkomst in de derde kolom van tabel 1.

5 Wat valt op als je de berekende weerstandswaarden met elkaar vergelijkt?

....

....

....

....

6 Had je de conclusie van opdracht 5 ook al uit het diagram kunnen trekken? Licht je antwoord toe.

....

....

....

....

PROEF 2 HET (*I*,*U*)-DIAGRAM VAN EEN GLOEILAMPJE

30 minuten

Inleiding

Als je de spanning in een schakeling verandert, verandert de stroomsterkte ook. Bij een constantaandraad is de stroomsterkte evenredig met de spanning: de twee grootheden gaan gelijk op. Maar geldt de uitkomst van proef 1 ook voor andere soorten draden?

Doel

De onderzoeksvraag is:
Welk verband bestaat er bij een gloeidraad tussen de stroomsterkte en de spanning?

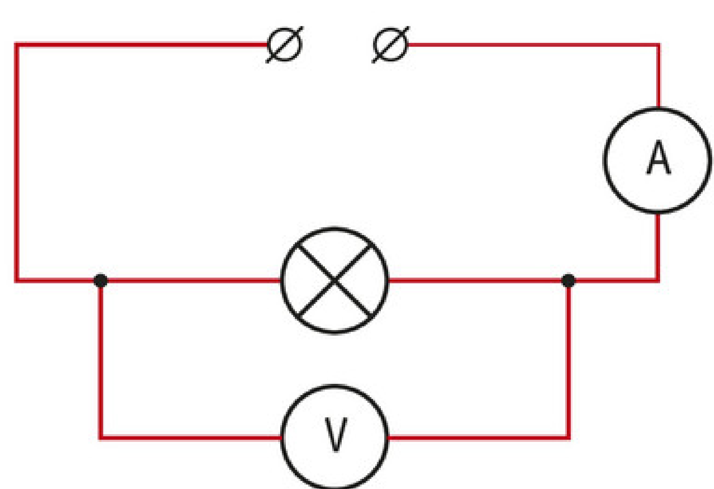
Nodig

- ☐ voedingskastje
- ☐ 5 snoeren
- ☐ stroommeter of multimeter
- ☐ spanningsmeter of multimeter
- ☐ lampje (6 V)
- ☐ fitting

Uitvoeren en uitwerken

Meten

- Maak de schakeling van figuur 3.
- Stel de spanning in op 0 V voordat je de voeding aanzet.
- Maak de spanning steeds 1 V hoger en meet de bijbehorende stroomsterkte door het gloeilampje. Ga hiermee door tot de spanning 6 V is.



figuur 3 De schakeling van proef 2.

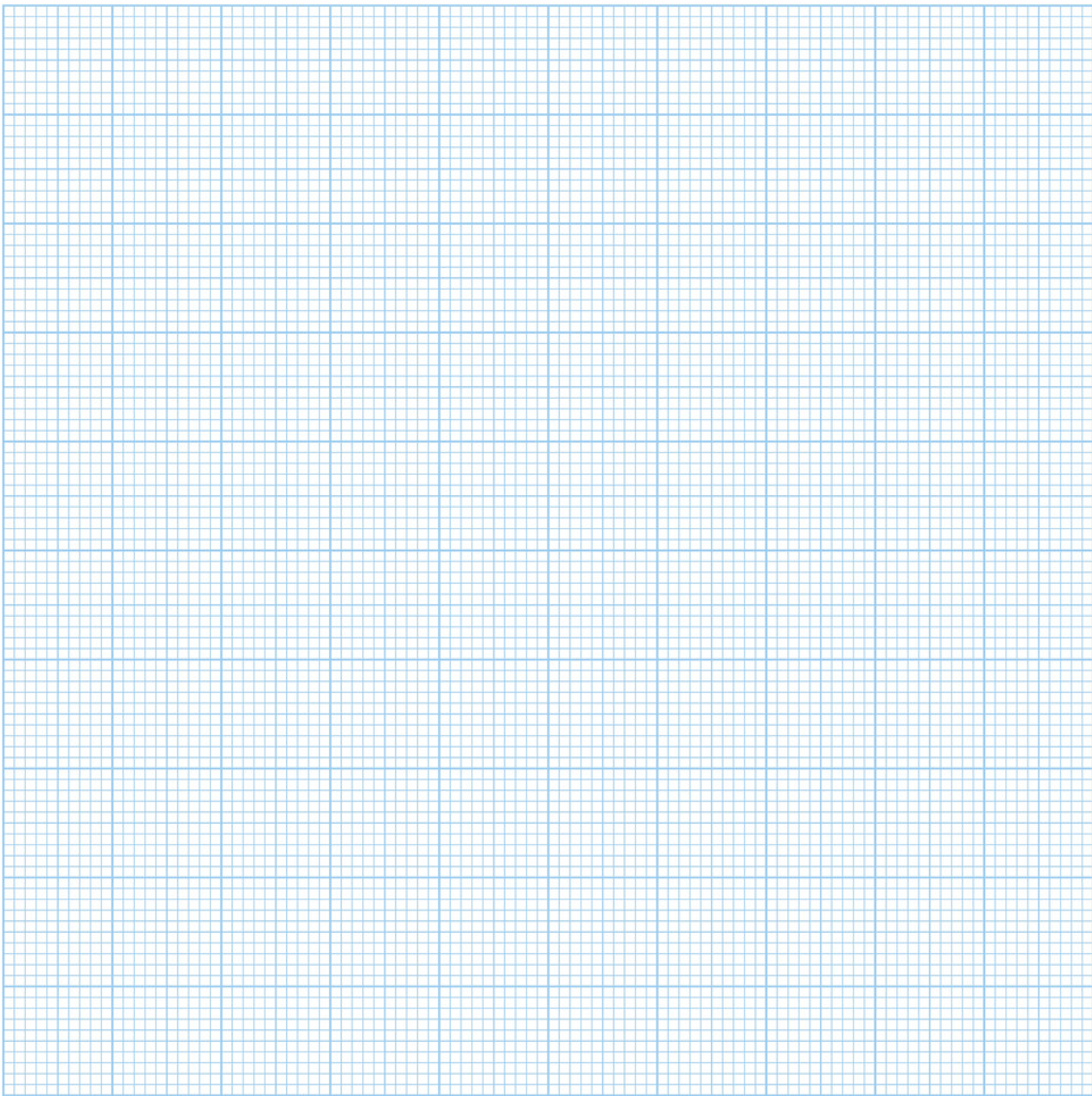
1 Noteer je meetgegevens op de juiste plaats in tabel 2.

tabel 2 De meetresultaten van proef 2.

spanning (V)	stroomsterkte (A)	weerstand (Ω)
0		
1,0		
2,0		
3,0		
4,0		
5,0		
6,0		

Uitwerken

2 Verwerk in figuur 4 je meetresultaten tot een grafiek in het (I,U)-diagram.



figuur 4 Het verband tussen de stroomsterkte door en de spanning over een gloeilamp.

3 Wat kun je zeggen over het verband tussen de spanning *over* en de stroom *door* de draad?

....

....

....

....

4 Bereken hoe groot de weerstand van het gloeilampje bij elke meting was. Noteer de uitkomst in de derde kolom van tabel 2.

5 Wat valt op als je de berekende weerstandswaarden met elkaar vergelijkt?

....

....

....

....

PROEF 3 DE VERVANGINGSWEERSTAND VAN EEN SERIESCHAKELING



Inleiding
Weerstanden worden vaak in serie geschakeld. Voor de totale weerstand R_{tot} van zo'n schakeling geldt:
$R_{tot} = R_1 + R_2 + ...$

Doel
Je controleert de formule $R_{tot} = R_1 + R_2 + ...$ in een serieschakeling van twee weerstanden.

Nodig
- ☐ voedingskastje
- ☐ 6 snoeren
- ☐ spanningsmeter
- ☐ stroommeter
- ☐ 2 weerstanden

Uitvoeren en uitwerken
Meten
- Bepaal de waarden van weerstand 1 en weerstand 2 met behulp van een schakeling met de stroom- en spanningsmeter.

1 Noteer je meetresultaten en berekeningen.

....

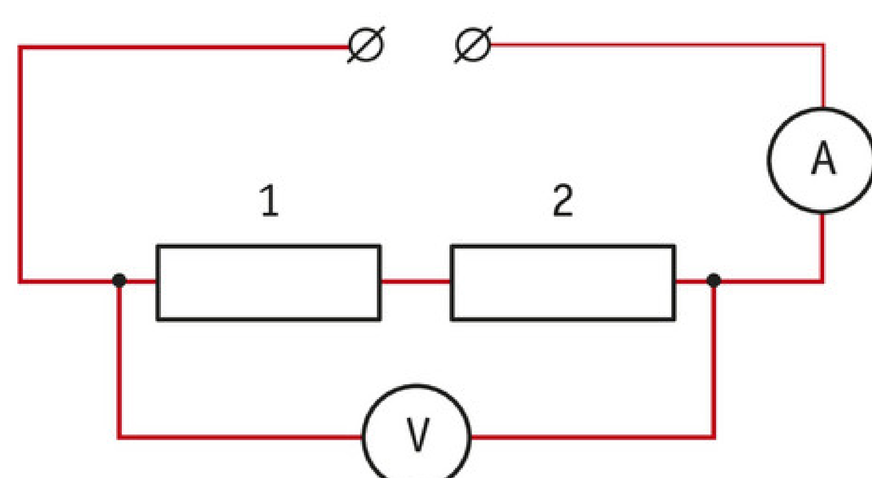
....

....

....

....

- Maak de schakeling van figuur 5.
- Meet de (totale) spanning en de stroomsterkte.



figuur 5 Het schakelschema van proef 3.

2 Noteer je meetresultaten.

....

....

....

....

Uitwerken

3 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$R_{tot} = \frac{U_{tot}}{I}$$

....

....

....

....

4 Bereken de totale weerstand met de formule:

$R_{tot} = R_1 + R_2$

....

....

....

....

5 Vergelijk de uitkomsten van opdracht 3 en 4.
Wat is je conclusie?

....

....

....

....

PROEF 4 DE VERVANGINGSWEERSTAND VAN EEN PARALLELSCHAKELING

20 minuten

Inleiding

Bij proef 3 heb je de vervangingsweerstand bepaald van twee weerstanden die in serie geschakeld waren. Bij deze proef ga je met dezelfde weerstanden aan het werk, maar nu schakel je ze parallel.

Doel

In een parallelschakeling van twee weerstanden controleer je de formule:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots$$

Nodig

- ☐ voedingskastje
- ☐ 6 snoeren
- ☐ spanningsmeter
- ☐ stroommeter
- ☐ 2 weerstanden

Uitvoeren en uitwerken

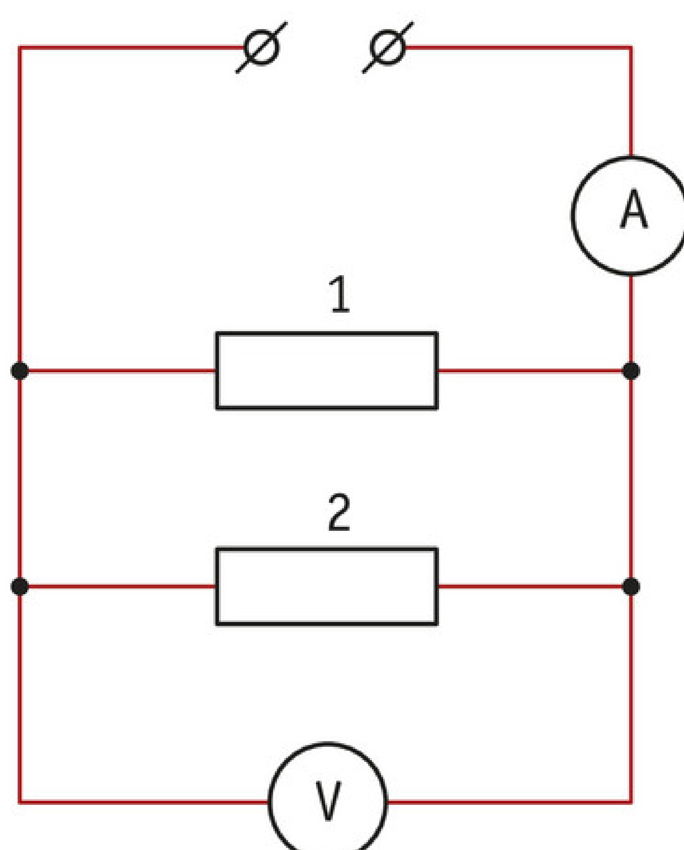
1 Noteer de waarden van weerstand 1 en 2 uit proef 3.

....

....

Meten

- Maak de schakeling van figuur 6.
- Meet de spanning en de (totale) stroomsterkte.



figuur 6 De schakeling van proef 4.

2 Noteer je meetresultaten.

....

....

....

....

Uitwerken

3 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$R_{tot} = \frac{U}{I_{tot}}$$

....

....

....

....

4 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

....

....

....

....

5 Vergelijk de uitkomsten van opdracht 3 en 4.
Wat is je conclusie?

....

....

....

....

6 Volgens de theorie is de totale weerstand bij een parallelschakeling kleiner dan R_1 en ook kleiner dan R_2.
Hoe zit dat bij deze parallelschakeling?

....

....

....

....

De volgende proeven staan in de online leeromgeving. Je docent beslist of ze worden uitgevoerd.

PROEF 5 SCHAKELEN MET EEN TRANSISTOR

45 minuten

Inleiding

Je onderzoekt hoe een transistor werkt.

PROEF 6 EEN ONTWERP MAKEN – DE ANTI-INBRAAKVERLICHTING

45 minuten

Inleiding

Je ontwerpt een schakeling voor een anti-inbraakverlichting.

Speuren naar metalen



Archeoloog Nils Kerkhoven heeft er plezier in. Geduldig tast hij de bodem af met zijn metaaldetector, een koptelefoon op het hoofd. Af en toe wordt zijn geduld beloond en begint zijn koptelefoon te piepen. Dan bukt hij zich en woelt de grond om: “Hoppa, weer eentje.” Hij houdt een min of meer cirkelvormig muntje omhoog. De afgelopen weken heeft hij er al tientallen gevonden: gouden en zilveren munten uit de vroege middeleeuwen, rond het jaar 700 verstopt door een inwoner van Utrecht en nu, na meer dan dertien eeuwen, weer tevoorschijn gekomen.

Op het Domplein in Utrecht wordt gegraven. Archeologen zoeken de grond zorgvuldig af op overblijfselen uit het verleden. Dat is niet de eerste keer. In 1949 zijn er op dezelfde plaats ook al opgravingen geweest. Toen zijn er maar twee munten gevonden: de schijfjes goud en zilver zijn zo klein dat je ze zonder hulpmiddelen bijna niet op kunt sporen. Maar nu is dat anders. Dankzij de metaaldetector en het geduldige zoekwerk van Nils Kerkhoven zijn er al meer dan vijftig munten verzameld. En de teller loopt nog.

ZOEKEN MET EEN METAALDETECTOR

Een metaaldetector functioneert als verlengstuk van je zintuigen. Wat je zelf niet kunt waarnemen – een munt onder het zand bijvoorbeeld – kan een metaaldetector wel detecteren. Op het moment dat het apparaat een interessant object signaleert, begint het te piepen. Je weet dan dat er op die plaats mogelijk een munt in de bodem zit. Je kunt zelfs aan de piepjes in de koptelefoon horen of het om een gouden of een zilveren munt gaat.

Het meest populaire type metaaldetector werkt met twee spoelen: een zendspoel en een ontvangstspoel (figuur 1). De zendspoel produceert een magneetveld dat een eindje in de bodem doordringt. De ontvangstspoel werkt als een antenne: hij registreert of er uit de bodem ook een (zwak) magneetveld terugkomt. Dit signaal wordt geanalyseerd door de elektronica in de metaaldetector die daarna een bijpassende piep produceert.



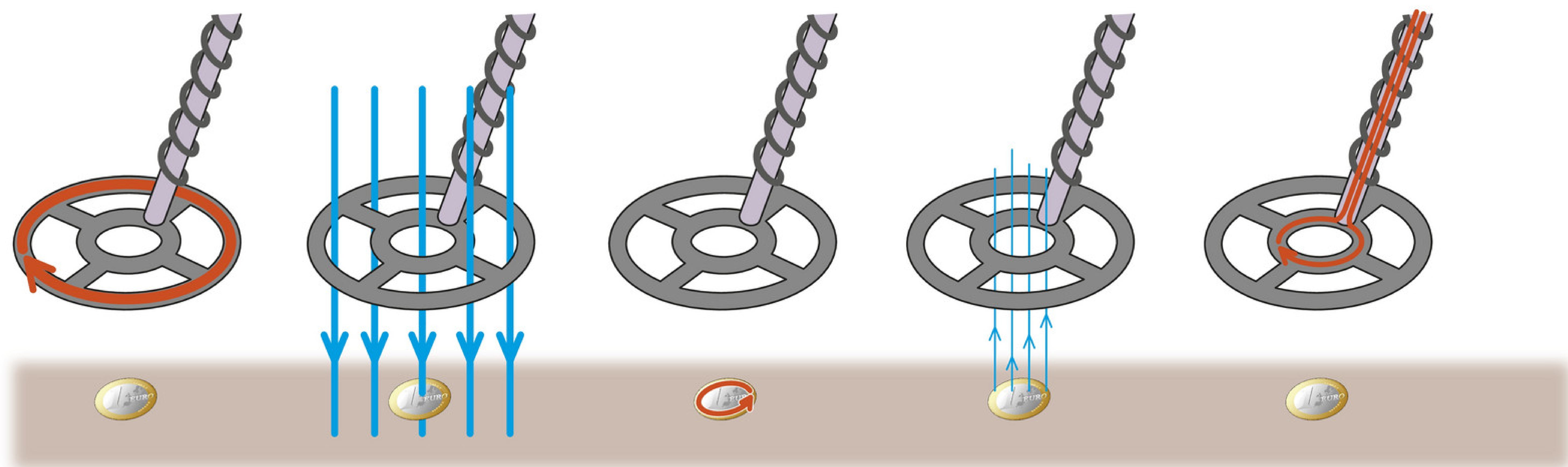
figuur 1 Zo ziet een metaaldetector eruit.

WERVELSTROMEN

Een metaaldetector maakt slim gebruik van het feit dat je met elektriciteit magnetisme kunt opwekken, en met magnetisme elektriciteit. Het zoekproces begint met een hoogfrequente wisselstroom die door de zendspoel loopt (figuur 2). Door deze wisselstroom wordt een even snel veranderend magneetveld opgewekt. Elke keer dat de stroom van richting verandert, doet het magneetveld dat ook.

Als het veranderende magneetveld een metalen voorwerp bereikt, gaat er in het metaal een wervelstroom lopen. Voor deze naam is gekozen, omdat de stroom ruwweg in een cirkel ronddraait, net als een wervelwind. De wervelstroom wekt op zijn beurt ook een magneetveld op: veel zwakker dan het veld van de zendspoel en in een tegengestelde richting (figuur 3).

De ontvangstspoel is volledig afgeschermd voor het sterke magneetveld van de zendspoel. Hierdoor ‘voelt’ de ontvangstspoel alleen het zwakke magneetveld van de wervelstroom. Dit veld genereert een kleine stroom in de ontvangstspoel, met dezelfde frequentie als de wisselstroom van de zendspoel. Deze stroom betekent dat er een metalen voorwerp is waargenomen.



figuur 2 De werking van de zend- en ontvangstspoelen.

“Het is niet zo’n goed idee om ergens te gaan heien als er nog een duizendponder onder het maaiveld ligt.”

KABELS EN BOMMEN ZOEKEN
Metaaldetectoren worden niet alleen gebruikt door archeologen en amateurschatgravers. Bedrijven werken er ook mee, bijvoorbeeld om leidingen in kaart te brengen voordat ergens wordt gegraven.

Als een graafmachine een waterleidingbuis beschadigt of een elektriciteitskabel kapottrekt, kan dat flinke schadeclaims opleveren. Een check met een metaaldetector helpt voorkomen dat het zover komt.

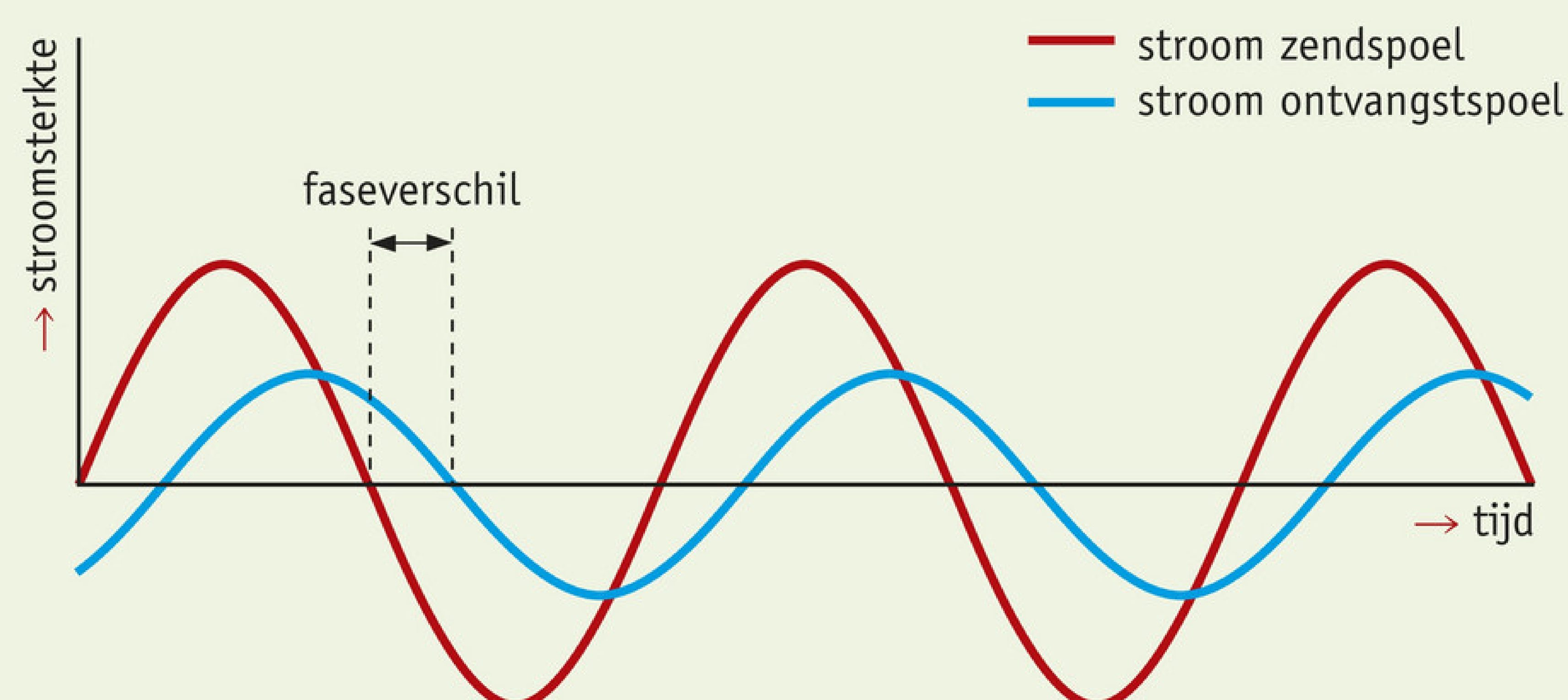
Een andere toepassing is het zoeken naar niet-ontplofte bommen uit de Tweede Wereldoorlog. Als het vermoeden bestaat dat er op een bouwterrein nog bommen in de grond zitten, kan de aannemer niet zomaar aan het werk gaan. Het terrein wordt dan eerst afgezocht met een metaaldetector. Daarnaast wordt ook vaak grondradar ingezet.

Weer een andere toepassing zijn de detectiepoortjes waar vliegtuigpassagiers voor vertrek doorheen lopen. Zo’n poort slaat alarm als je een voorwerp van metaal bij je hebt, of het nu een sleutelbos, een muntstuk, een riem of een steekwapen is. Het bewakingspersoneel heeft draagbare detectoren om het metalen voorwerp snel te kunnen vinden. Die snelheid is belangrijk, want het alarm gaat vaak af. En al is het bijna altijd iets onschuldigs, de oorzaak moet wel worden gevonden voordat je door mag lopen.

AUTO’S DETECTEREN
In ‘intelligente’ verkeerslichten wordt een vergelijkbare detectietechniek gebruikt. Het regelsysteem dat dit soort verkeerslichten aanstuurt, kan zien of er een auto voor een stopstreep staat en past het regelgedrag daarop aan. Een automobilist krijgt bijvoorbeeld meteen groen licht als er geen andere auto’s op een kruispunt staan te wachten.

Metalen herkennen

Een wervelstroom heeft altijd even tijd nodig om op gang te komen. Dat geldt ook voor de wervelstromen die een metaaldetector genereert. De stroom in het voorwerp loopt een fractie van een seconde achter op de stroom in de zendspoel. Dit wordt een faseverschil genoemd.
Het faseverschil is niet voor alle metalen even groot. Sommige metalen reageren snel op een veranderend magneetveld, andere langzamer. Voor een zilveren muntje is het faseverschil veel groter dan voor een schroefdop van aluminium. Dat heeft te maken met de elektrische eigenschappen van het metaal, bijvoorbeeld of het een goede, of juist een minder goede geleider is.
Een metaaldetector gebruikt het faseverschil om verschillende metalen van elkaar te onderscheiden. De elektronica meet hoeveel het ontvangen signaal achterloopt op het verzonden signaal en concludeert daaruit om welk metaal het gaat.



figuur 3 Het faseverschil tussen de stroom door de zend- en de ontvangstspoel.

De sensor van zo'n 'intelligente' verkeerslichteninstallatie is een rechthoekige lus van geïsoleerd draad, die in het wegdek wordt ingebed (figuur 4). Om zo'n detectielus aan te brengen, wordt eerst een groef in het asfalt gefreesd. Wegwerkers leggen de draad erin en maken de groef daarna weer dicht. Je kunt het litteken zien tot het wegdek opnieuw wordt geasfalteerd.

Als een auto recht boven de detectielus staat, wekt die een wervelstroom op in de metalen onderkant van de auto. Dit gebeurt op dezelfde manier als bij een metaaldetector: er loopt dan een hoogfrequente wisselstroom door de detectielus. Het magneetveld van de wervelstroom door de auto beïnvloedt de stroom door de detectielus. Hierdoor signaleert de regelelektronica dat er zich een auto boven de lus bevindt.



figuur 4 Wegwerkers brengen een detectielus aan in het wegdek.

EEN SUCCESVOLLE TECHNOLOGIE

Het perfecte detectiesysteem ziet onder alle omstandigheden wat het moet zien, kan niet worden misleid, heeft geen last van storingen en is niet kapot te krijgen. Zo'n systeem ontwerp je niet zomaar: er zijn betrouwbare sensoren voor nodig en slimme elektronica die met alles rekening houdt. En ook al heeft ieder ontwerp zijn beperkingen, sommige detectiesystemen komen wel een flink eind in de goede richting, zoals de verschillende varianten op de metaaldetector dagelijks laten zien.

OPDRACHTEN

1 Je kunt munten in de grond opsporen met een metaaldetector.
Leg uit of het voor het opsporen uitmaakt:

a hoe groot de munt is.
b hoe diep de munt onder de grond zit.
c van welk soort metaal de munt is gemaakt.
d of de munt plat in de grond ligt of rechtop (op de rand) staat.

2 Metaaldetectoren worden in de voedingsindustrie gebruikt om producten te scannen.

a Welke 'voedingsvreemde bestanddelen' kunnen op die manier worden gedetecteerd?
b Bedenk zelf een voorbeeld van wat deze 'voedingsvreemde bestanddelen' kunnen zijn.

3 In het verkeer worden detectielussen gebruikt.

a Leg uit hoe je met detectielussen de snelheid van een auto kunt bepalen.
b Voor welke doelen worden de gegevens van de detectielussen verzameld?
c Hoe komt het dat de detectielussen soms motorrijders over het hoofd zien?

Leerstofoverzicht

5.1 LADING EN SPANNING

ONTHOUD

- Je kunt pvc elektrisch laden door er met een wollen doek over te wrijven.
- Je kunt zien dat een voorwerp geladen is doordat het andere voorwerpen aantrekt. Je kunt zien, voelen en horen dat er vonkjes overspringen.
- Er zijn twee soorten lading: positieve lading en negatieve lading. Gelijksoortige ladingen stoten elkaar af. Niet-gelijksoortige ladingen trekken elkaar aan.
- Alleen de negatief geladen elektronen kunnen van een voorwerp naar een ander voorwerp bewegen. Een negatief geladen voorwerp heeft een overschot aan elektronen. Een positief geladen voorwerp heeft een tekort aan elektronen.
- Tussen een negatief geladen voorwerp en een positief geladen voorwerp bestaat een spanning. Als de twee voorwerpen worden verbonden door een geleidend materiaal, gaat er een elektrische stroom lopen.
- Accu's, dynamo's en batterijen zijn spanningsbronnen. Deze kunnen lange tijd een stroom laten lopen, terwijl de spanning constant blijft.

BEGRIPPEN

elektrisch geladen
Situatie waarin een voorwerp een elektrische lading heeft.

elektron
Negatief geladen deeltje.

negatieve lading
De lading die een (neutraal) voorwerp krijgt als het elektronen opneemt.

neutraal
Situatie waarin een voorwerp evenveel positieve als negatieve lading bevat.

positieve lading
De lading die een (neutraal) voorwerp krijgt als het elektronen afstaat.

spanning
Een maat voor hoeveel elektrische energie elk deeltje met zich meedraagt.

statisch
Situatie waarin een voorwerp een elektrische lading heeft.

5.2 WEERSTAND

ONTHOUD

- Als stroom moeilijk door een voorwerp gaat, dan heeft dat apparaat een grote weerstand.
- Je kunt de weerstand (R), de spanning (U) en de stroomsterkte (I) berekenen met de formule: $R = \frac{U}{I}$
- Als de spanning over en de stroomsterkte door een schakelonderdeel recht evenredig zijn, verandert de weerstand niet. Je zegt dan dat het voorwerp voldoet aan de wet van Ohm.
- Soms krijgen voorwerpen waar een stroom doorheen gaat een hoge temperatuur. Hierdoor kan de stroom minder gemakkelijk door het voorwerp heen lopen. De weerstand van het voorwerp neemt dan toe. De wet van Ohm gaat dan niet meer op. Zolang de temperatuurstijging beperkt blijft, kun je de toename van de weerstand verwaarlozen.
- Als de temperatuur van een NTC stijgt, neemt zijn weerstand af. De NTC laat dan meer stroom door.
- Als er meer licht op een LDR valt, neemt zijn weerstand af. De LDR laat dan meer stroom door.

BEGRIPPEN

(I,U)-diagram
Grafiek waarin de stroomsterkte is uitgezet tegen de spanning.

LDR
Variabele weerstand die gevoelig is voor veranderingen in de hoeveelheid licht.

NTC
Variabele weerstand die bij een lagere temperatuur een hogere weerstand krijgt.

weerstand
De eigenschap van een elektrisch onderdeel dat bepaalt hoe gemakkelijk elektrische stroom erdoorheen kan gaan.

wet van Ohm
Regel die stelt: de spanning (*over* de draad) en de stroomsterkte (*door* de draad) zijn recht evenredig.

5.3 WERKEN MET WEERSTANDEN

ONTHOUD

- De totale weerstand in een serieschakeling wordt berekend door alle weerstanden in die schakeling bij elkaar op te tellen. In formulevorm: $R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + ...$
- De totale spanning over een serieschakeling verdeelt zich over de verschillende weerstanden in die schakeling. In formulevorm: $U_{tot} = U_1 + U_2 + U_3 + ...$
- De spanning over iedere weerstand bereken je door de weerstand te vermenigvuldigen met de stroomsterkte. In formulevorm: $U_1 = I \cdot R_1$, $U_2 = I \cdot R_2$, enzovoort.
- De totale weerstand in een parallelschakeling wordt berekend met de formule: $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$
- De totale stroomsterkte in een parallelschakeling wordt berekend door alle stroomsterkten van de vertakkingen bij elkaar op te tellen. In formulevorm: $I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$

BEGRIPPEN

vervangingsweerstand
Term voor de totale weerstand als meerdere weerstanden in serie of parallel geschakeld zijn.

weerstand (onderdeel)
Schakelonderdeel met een bepaalde weerstand.

5.4 AUTOMATISCHE SCHAKELINGEN

ONTHOUD

- Iedere automatische schakeling bestaat uit een sensor, een schakelaar en een actuator.
- De sensor produceert een elektrisch signaal. De schakelaar reageert op dit signaal door de actuator in- of juist uit te schakelen.
- Als er een stroom loopt van de basis naar de emitter, dan staat de transistor in de AAN-stand. Er loopt dan ook een stroom van de collector naar de emitter.
- Als er geen stroom loopt van de basis naar de emitter, dan staat de transistor in de UIT-stand. Er loopt dan ook geen stroom van de collector naar de emitter.

BEGRIPPEN

actuator
Onderdeel van een schakeling dat de gewenste actie uitvoert.

basis
Een van de drie aansluitpunten van een transistor. De grootte van de stroom door de basis bepaalt of de collector stroom doorlaat.

collector
Een van de drie aansluitpunten van een transistor. Of er stroom door de collector loopt, wordt bepaald door de grootte van de stroom die door de basis loopt.

emitter
Een van de drie aansluitpunten van een transistor.

schakelaar
Onderdeel van een schakeling dat de stroom in- of uitschakelt.

sensor
Onderdeel van een schakeling dat door middel van een elektrisch signaal informatie doorgeeft over de omgeving.

transistor
Onderdeel van een schakeling dat fungeert als een automatische schakelaar.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

6 Straling

BEELDEN MAKEN MET STRALING
In het ziekenhuis worden verschillende beeldvormende technieken gebruikt. Daarmee worden afbeeldingen gemaakt zoals infraroodopnames, röntgenfoto's en verschillende soorten scans. Hiermee kunnen artsen zich een beeld vormen van de situatie in een lichaam.




Patient Applications Transfer Edit View Image Tools Scroll Evaluation System Options Help
Waiting for scan instructions.
Stimu=NM SAR=NM

Wat weet je al over licht en straling?

LEERDOELEN

1 Je kunt uitleggen wat de frequentie van een trilling is.
2 Je kunt uitleggen wat een spectrum is en hoe je een spectrum zichtbaar maakt.
3 Je kunt aangeven waar infrarode en ultraviolette straling in het spectrum liggen.
4 Je kunt lichtstralen tekenen.

In deel 1-2 van Nova nask heb je al een aantal dingen geleerd over licht en straling. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Leg uit wat de frequentie van een trilling is.

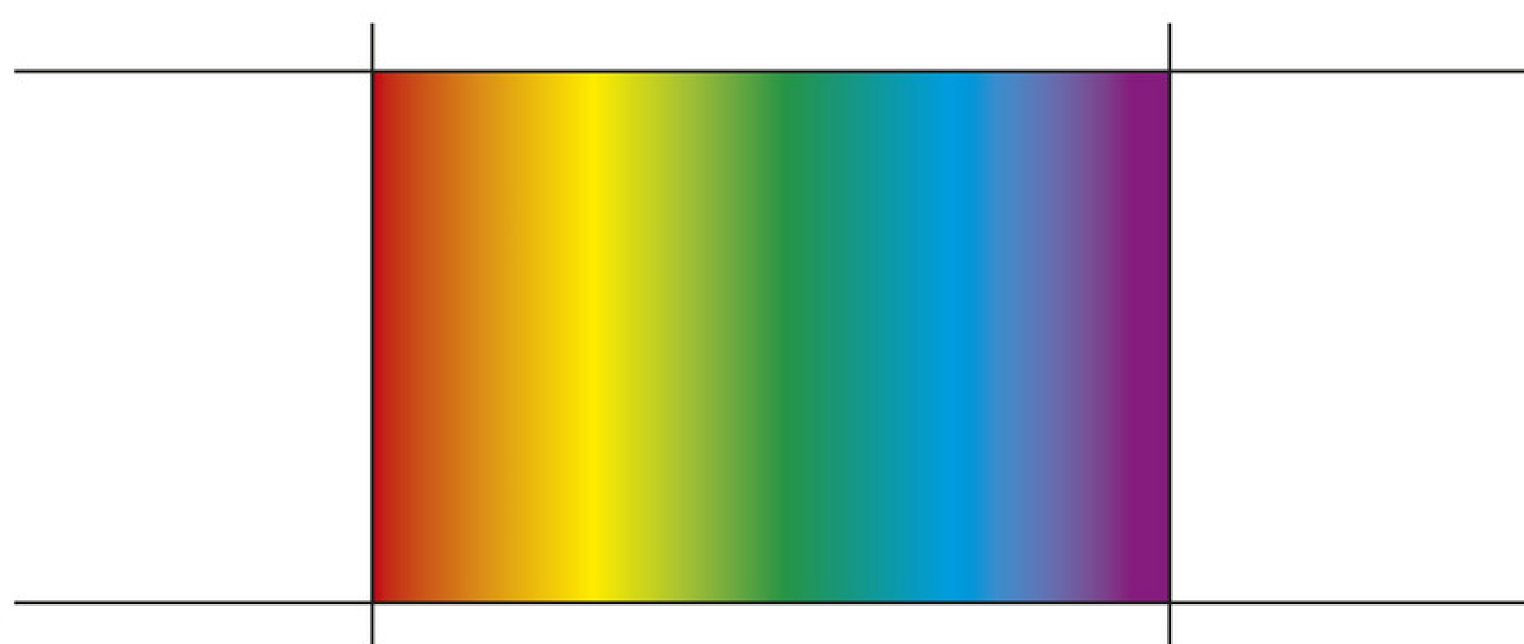
....

....

2 Wat is een spectrum?

○ A een prisma
○ B een kunstmatige lichtbron
○ C een reeks kleuren

3 Je ogen zijn alleen gevoelig voor zichtbaar licht. Infrarode straling (ir) en ultraviolette straling (uv) kun je niet zien.
Geef in onderstaande figuur de juiste plaats van ir- en uv-straling aan.



figuur 1 Zichtbaar licht.

4 De ledlamp in figuur 2 straalt licht uit.
Teken in de figuur minimaal tien lichtstralen die dit weergeven.



figuur 2 Een ledlamp.

Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk. Of scan de QR-code om direct naar een filmpje te gaan:



Frequentie



Spectrum, ir en uv

1 Elektromagnetische straling

LEERDOELEN

6.1.1 Je kunt het draadloos zenden en ontvangen van informatie beschrijven.
6.1.2 Je kunt kenmerken van elektromagnetische straling beschrijven.
6.1.3 Je kunt de afgelegde afstand van elektromagnetische straling berekenen met behulp van de lichtsnelheid.
6.1.4 Je kunt in het elektromagnetische spectrum soorten elektromagnetische straling ordenen.
6.1.5 Je kunt de effecten van ioniserende straling beschrijven.
PLUS 6.1.6 Je kunt rekenen met de formule voor golfsnelheid.

Veel mensen denken bij het woord ‘straling’ aan kernenergie. In kerncentrales ontstaan stoffen die straling uitzenden. Dergelijke stoffen noem je radioactief. Er zijn veel soorten straling en veel bronnen daarvan. Je telefoon bijvoorbeeld is een stralingsbron, net als een magnetron en een afstandsbediening. Zelfs je lichaam is een stralingsbron: het zendt voortdurend infrarode straling uit.

ZENDEN EN ONTVANGEN

Je kunt je telefoon alleen gebruiken als je bereik hebt. Er moet een zendmast in de buurt zijn waarmee je telefoon kan communiceren. Tussen de antenne van je telefoon en de antenne op de zendmast wordt dan voortdurend informatie uitgewisseld.

Als je telefoon aan het zenden is, loopt er een wisselstroom door de ingebouwde antenne (figuur 1). De elektronen in de antenne bewegen met een hoge frequentie heen en weer. Door die beweging ontstaan er **elektromagnetische golven** die met een zeer hoge snelheid bij de antenne vandaan bewegen.

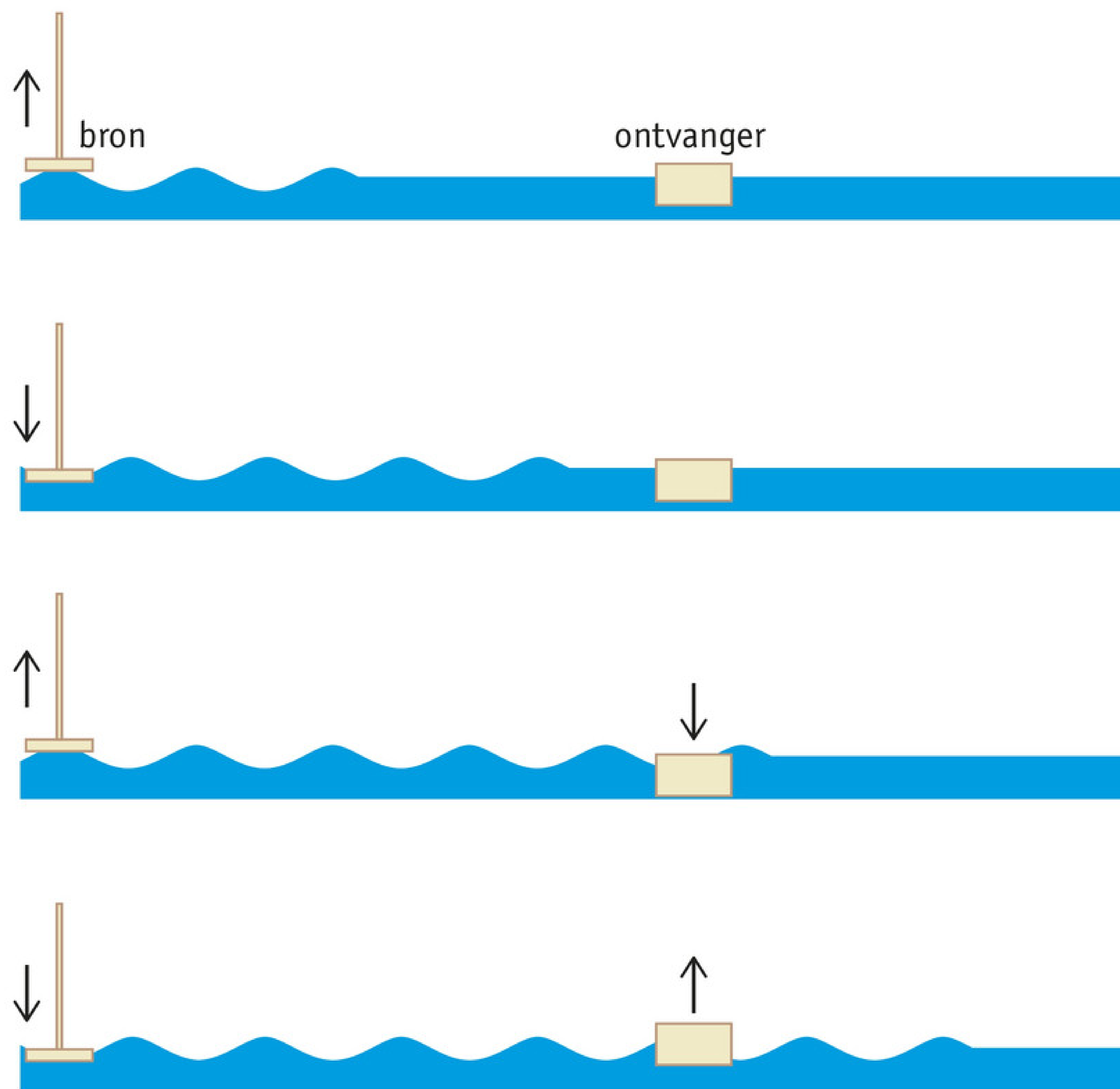


figuur 1 Zenden met je telefoon.

Als de elektromagnetische golven bij de zendmast aankomen, komen de elektronen daar ook in beweging: de elektronen in de antenne van de zendmast gaan in hetzelfde tempo op en neer bewegen als de elektronen in de telefoonantenne. Er ontstaat een wisselstroom met dezelfde frequentie als de wisselstroom in de telefoonantenne. Op die manier kunnen signalen worden doorgegeven van de telefoon naar de zendmast.

EIGENSCHAPPEN

Elektromagnetische golven bewegen net als watergolven van de bron af. In figuur 2 is getekend hoe dat bij watergolven gaat. De 'bron' is een voorwerp dat op en neer gaat en zo het water in beweging brengt. De 'ontvanger' is een houten blokje dat op en neer gaat bewegen als de golven bij het blokje aankomen.



figuur 2 Golven planten zich voort van bron naar ontvanger.

Behalve overeenkomsten zijn er ook grote verschillen tussen watergolven en elektromagnetische golven:

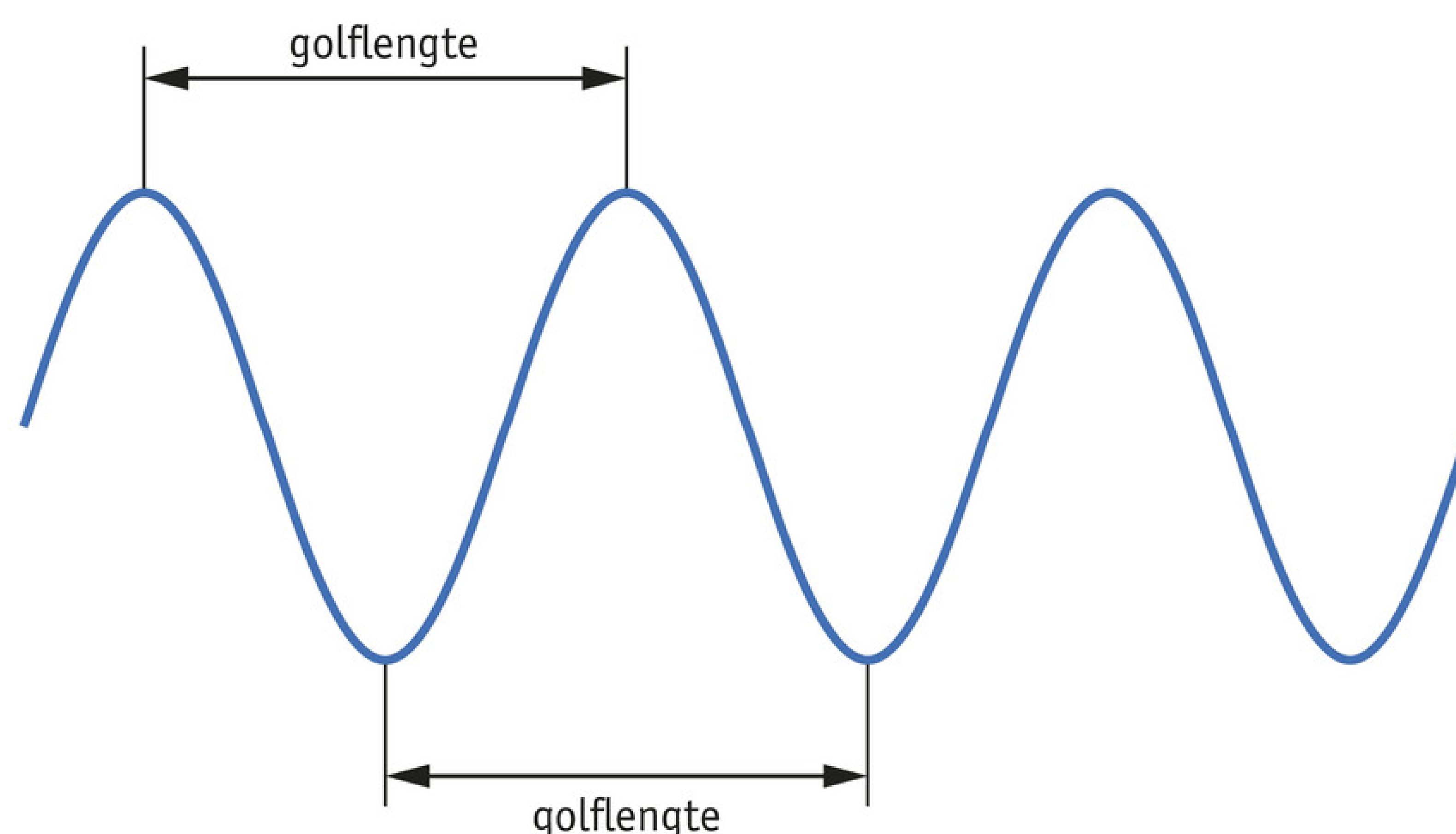
- Elektromagnetische golven bewegen niet in één vlak zoals een watergolf, maar in alle richtingen.
- Elektromagnetische golven zijn geen trillingen in een stof zoals water of lucht, maar planten zich zelfstandig voort, ook door een vacuüm.
- Elektromagnetische golven hebben in vacuüm altijd dezelfde snelheid: 299 792 458 m/s, afgerond $3{,}00 \cdot 10^8$ m/s. Deze snelheid wordt de **lichtsnelheid** genoemd en heeft een eigen symbool: *c*. De lichtsnelheid in lucht is bijna gelijk aan die in vacuüm. Als je weet hoelang licht onderweg is van de ene naar de andere plaats, dan kun je met de volgende formule de afgelegde afstand berekenen:

$$s = c \cdot t$$

Hierin is:

- s de afstand in meter (m);
- c de lichtsnelheid in meter per seconde (m/s);
- t de tijd in seconde (s).

Het aantal golftoppen dat in 1 seconde voorbijkomt, noem je de **frequentie** *f* van de golf. De afstand tussen twee golftoppen (of golfdalen) noem je de **golflengte** (figuur 3). Hiervoor wordt *λ*, de Griekse letter labda, als symbool gebruikt.



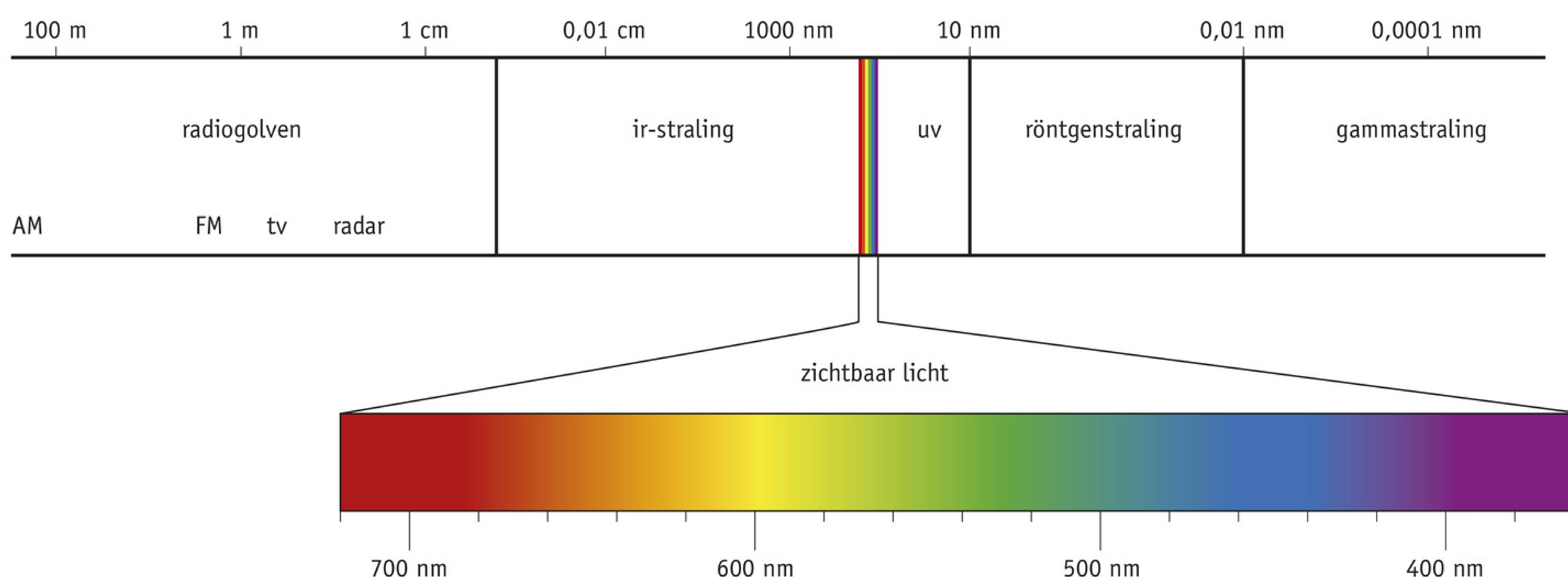
figuur 3 Zo kun je de golflengte *λ* bepalen.

Bij elke frequentie hoort één golflengte (in vacuüm). Een telefoon gebruikt golven met een frequentie van 800 tot 1800 MHz. Dat komt overeen met een golflengte van 16 à 38 cm. Licht is ook een elektromagnetisch golfverschijnsel, maar met veel kleinere golflengten. Dit soort korte golflengten wordt meestal gegeven in nanometers. Een nanometer is een miljardste meter (1 nm = 10^{-9} m).

HET ELEKTROMAGNETISCH SPECTRUM

Met de theorie over elektromagnetische golven kun je uiteenlopende soorten straling beschrijven. De theorie geldt niet alleen voor radiogolven en licht, maar ook voor infrarode straling (ir-straling), ultraviolette straling (uv-straling), röntgenstraling en gammastraling.

In figuur 4 zijn de soorten elektromagnetische straling geordend op golflengte. Er ontstaat dan een elektromagnetisch **spectrum**, van radiogolven tot gammastraling. Het spectrum van zichtbaar licht is hiervan maar een heel klein onderdeel; het loopt van 780 nm (dieprood) tot 380 nm (ver violet).



figuur 4 Het elektromagnetisch spectrum: van radiogolven tot gammastraling.

De eigenschappen van elektromagnetische straling worden bepaald door de golflengte. Je ziet dat in het spectrum van licht (figuur 4). Elke **spectraalkleur** heeft zijn eigen golflengte (in vacuüm). Rood licht heeft de grootste golflengte, violet licht de kleinste. Als je de golflengte kent, weet je ook welke kleur het licht heeft.

Licht is de enige soort elektromagnetische straling die je kunt zien. Je ogen zijn gevoelig voor de kleuren van ‘gewoon’ licht: van rood tot violet. Alle andere vormen van straling zijn voor mensen onzichtbaar. Om ze zichtbaar te maken, heb je speciale instrumenten nodig, zoals een infraroodcamera (figuur 5).



figuur 5 Een infraroodcamera maakt een *false color image* van een radiator. Rood staat voor veel ir-straling (dus heet), blauw voor weinig ir-straling (dus koel).

EFFECTEN VAN STRALING

Als straling wordt geabsorbeerd, komt de energie van de straling vrij. Dat merk je als je met een zwart T-shirt aan in de felle zon zit: door de straling (infrarood en licht) die op je T-shirt valt, krijg je het snel warm. Doordat stralingsenergie wordt omgezet in warmte, stijgt de temperatuur van je huid. Hiervoor is verhoudingsgewijs veel energie nodig.

Sommige soorten straling hebben nog een ander effect: hun stralingsenergie kan stoffen afbreken. Dat merk je bijvoorbeeld als je een vel gekleurd papier een aantal dagen in de zon legt. De ultraviolette straling in het zonlicht maakt de kleurstofmoleculen kapot. Daardoor verbleken de kleuren (figuur 6). Uv-straling kan ook schade veroorzaken aan het DNA (het erfelijk materiaal) in je huidcellen.



figuur 6 Een proef met uv-straling: na twee weken in de zon is het papier zichtbaar verkleurd.

Straling die moleculen kapot kan maken, wordt **ioniserende straling** genoemd. Radiogolven, ir-straling en licht zijn niet ioniserend. Uv-straling is zwak ioniserend en röntgenstraling en gammastraling zijn sterk ioniserend. Een uiterst kleine hoeveelheid röntgen- of gammastraling kan daardoor al gezondheidsschade veroorzaken. Daarom moet je met deze vormen van straling erg voorzichtig zijn.

PLUS GOLFLENGTE EN FREQUENTIE

Elke golf beweegt met een bepaalde snelheid, de **golfsnelheid**. Als in figuur 2 bij de bron 12 golven per seconde worden gemaakt, zeg je dat de frequentie 12 Hz is. Heeft de golf een golflengte van 3,0 m, dan is de kop van de golf na 1 seconde verplaatst over 12 × 3,0 = 36 m. De snelheid *v* van de golf is dus 36 m/s. De golfsnelheid bereken je dan ook met de formule:

$$v = f \cdot \lambda$$

Hierin is:
- v de golfsnelheid in meter per seconde (m/s);
- f de frequentie in hertz (Hz);
- λ de golflengte in meter (m).

Licht en andere elektromagnetische golven bewegen (in vacuüm) altijd met de lichtsnelheid, dus mag je zeggen: $v = c = 3{,}00 \cdot 10^8$ m/s. Andere golven, zoals geluidsgolven, bewegen met een veel lagere snelheid. Bij een temperatuur van 20 °C bewegen deze golven met de geluidssnelheid van 'slechts' 343 m/s.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Een laser straalt blauw licht uit met een golflengte van 470 nm.
Bereken de frequentie van dit blauwe licht.

gegevens $v = c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s
$\lambda = 470$ nm $= 470 \cdot 10^{-9}$ m

gevraagd $f = ?$

uitwerking $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{c}{\lambda}$

$$f = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{470 \cdot 10^{-9}} = 6{,}4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1

Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe groot is de snelheid van elektromagnetische golven in vacuüm?

b Welke soorten straling hebben een langere golflengte dan licht?

☐ A radiogolven
☐ B infrarode straling
☐ C ultraviolette straling
☐ D röntgenstraling

c Welk soort straling heeft een golflengte tussen 10 nm en 0,01 nm?

○ A radiogolven
○ B infrarode straling
○ C ultraviolette straling
○ D röntgenstraling

d Welk soort elektromagnetische straling heeft een zwakke ioniserende werking?

○ A radiogolven
○ B infrarode straling
○ C ultraviolette straling
○ D röntgenstraling

e Wat is het kenmerk van ioniserende straling?

2

Beantwoord de volgende vragen.

a Wat gebeurt er in je telefoon als hij informatie naar een zendmast zendt?

b Wat gebeurt er in je telefoon als hij informatie ontvangt van een zendmast?

TOEPASSING

3

In de wereld om je heen kom je allerlei stralingsbronnen tegen.
Maak het overzicht in tabel 1 af.

tabel 1 Vijf stralingsbronnen.

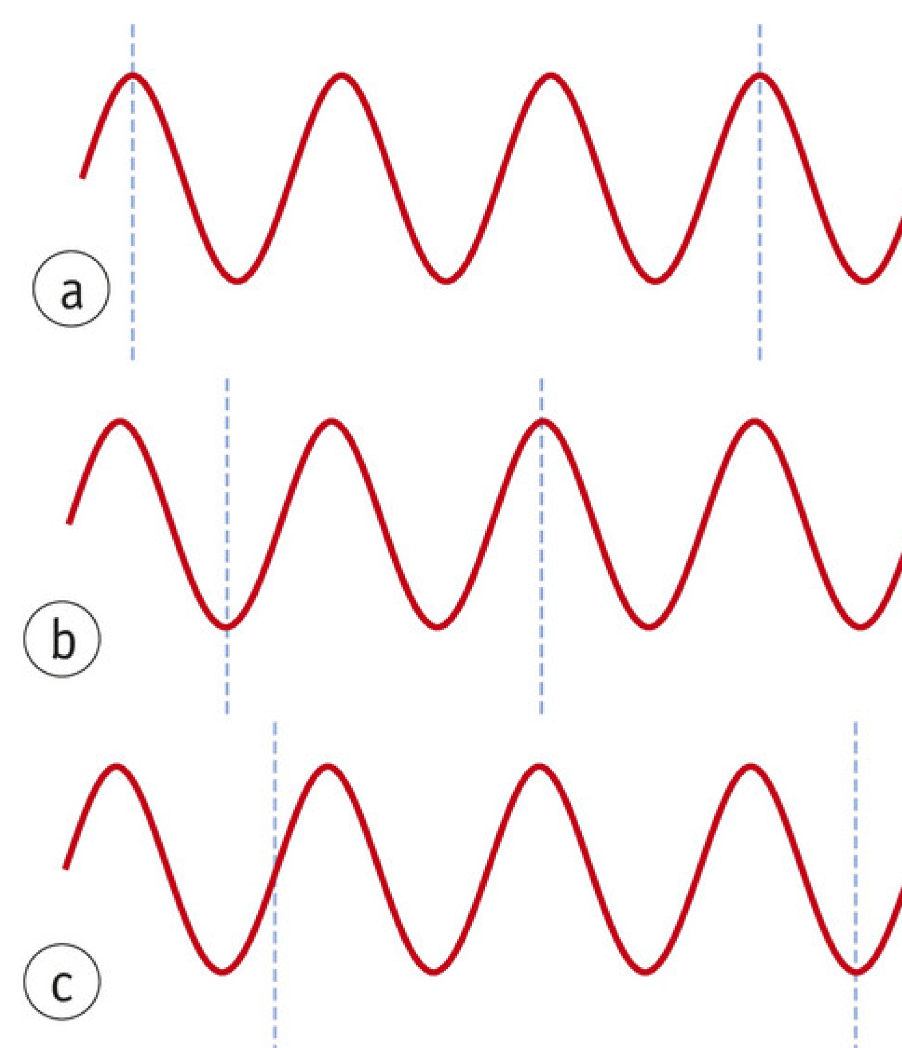
voorbeeld van een stralingsbron	soort straling
	radiogolven
radiator van een cv	
	(zichtbaar) licht
	ultraviolette straling
röntgenapparaat	

4 Bekijk figuur 7.
Bepaal hoeveel golflengten zich tussen de twee stippellijnen bevinden.

a in figuur 7a: ....

b in figuur 7b: ....

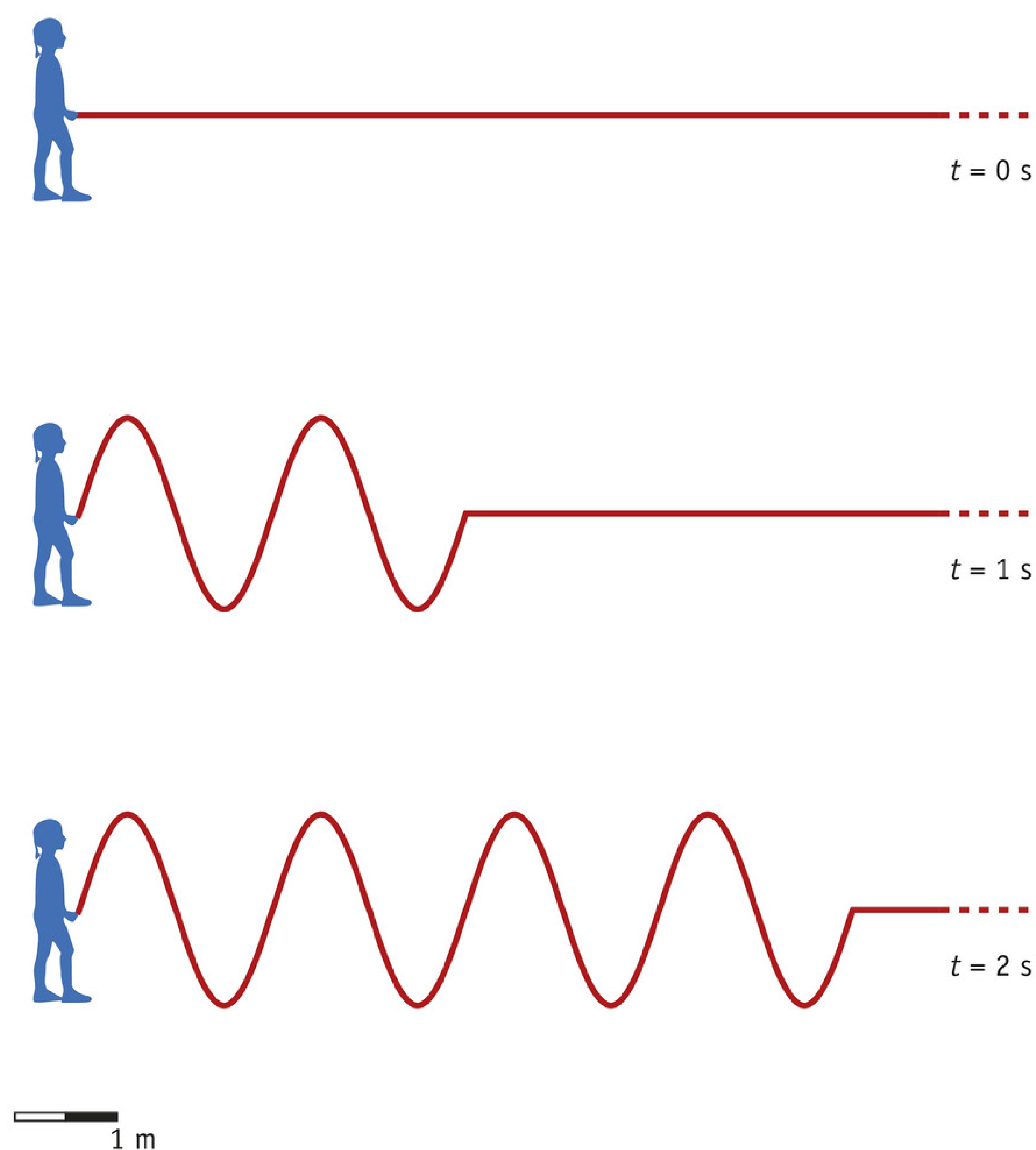
c in figuur 7c: ....



figuur 7 Aantal golflengten.

5 Ilse veroorzaakt een golfbeweging in een springtouw door het ene uiteinde op en neer te bewegen. Het andere uiteinde heeft ze aan een muur vastgemaakt.
Bepaal met behulp van de gegevens in figuur 8:

a de frequentie.
b de golflengte. Let ook op de aangegeven schaal.
c de golfsnelheid.



figuur 8 Golven in een touw.

6

Op 1 januari 2019 maakte de ruimtesonde New Horizons een scheervlucht langs Ultima Thule, een object in de kuipergordel (figuur 9). New Horizons maakte foto's tijdens deze scheervlucht en stuurde ze via radiosignalen naar de aarde. Het duurde 5,92 uur voordat de radiosignalen de aarde bereikten.
Bereken hoe groot de afstand tussen New Horizons en de aarde op dat moment was. Geef het antwoord in miljarden kilometer.



figuur 9 Kuipergordelobject 2014MU69, beter bekend als Ultima Thule.

7

Bekijk de infraroodfoto in figuur 10.

a Welke lichaamsdelen van de hond hebben de hoogste temperatuur?

b De temperatuur van deze lichaamsdelen is ongeveer .... °C.

c Welke lichaamsdeel heeft de laagste temperatuur?

d Leg uit waarom de beelden van een infraroodcamera 's nachts vaak duidelijker zijn dan overdag.



figuur 10 Een hond in infrarood.

8

De straling die een laser uitzendt, heeft één vaste golflengte. In tabel 2 zie je zes soorten lasers met hun golflengte. In figuur 4 zie je eigenschappen en golflengten van de soorten straling.

a Noteer in tabel 2 bij elke laser de soort straling.

b Noteer in tabel 2 de kleur van het licht bij de lasers die zichtbaar licht uitzenden.

tabel 2 Zes soorten lasers.

soort laser	golflengte (nm)	soort straling	kleur
argon	1090		
helium-cadmium	442		
koper	511		
krypton-fluoride	248		
robijn	694		
stikstof	337		

9 Aan de golflengte kun je zien met welk soort straling je te maken hebt.
Maak de juiste combinaties.

A	10 cm	◯	◯ 1	gammastraling
B	0,01 cm	◯	◯ 2	groen licht
C	520 nm	◯	◯ 3	ir-straling
D	1 nm	◯	◯ 4	radiogolven
E	1 pm	◯	◯ 5	röntgenstraling

10 In figuur 11 staat een gedeelte uit een rapport van de brandweer. Hierin worden de risico's beschreven van een ongeval met een tankwagen met lpg (*liquid petrol gas*).

a Leg uit waardoor een tank kapot kan gaan als hij wordt 'aangestraald door een brand'.
b De tekst heeft het over 'hittestraling'. Om wat voor soort straling gaat het dan?
c Waarom is dit soort straling in grote hoeveelheden gevaarlijk en soms zelfs dodelijk?
d Waardoor komt het dat het risico afhankelijk is van de afstand tot de bron van de straling?

Lpg-explosie

In het slechtste geval wordt de tankwagen aangestraald door brand, waarna de tankwand het begeeft, de brandbare vloeistof ontsteekt en een grote vuurbal ontstaat met hittestraling tot gevolg. Dit wordt een *bleve* genoemd: *boiling liquid expanding vapour explosion*. Tot een afstand van maximaal 230 meter zullen direct slachtoffers vallen door de intense hittestraling en tot op een afstand van 600 meter kunnen doden en gewonden vallen als gevolg van brandwonden.



figuur 11 De risico's van een lpg-explosie.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

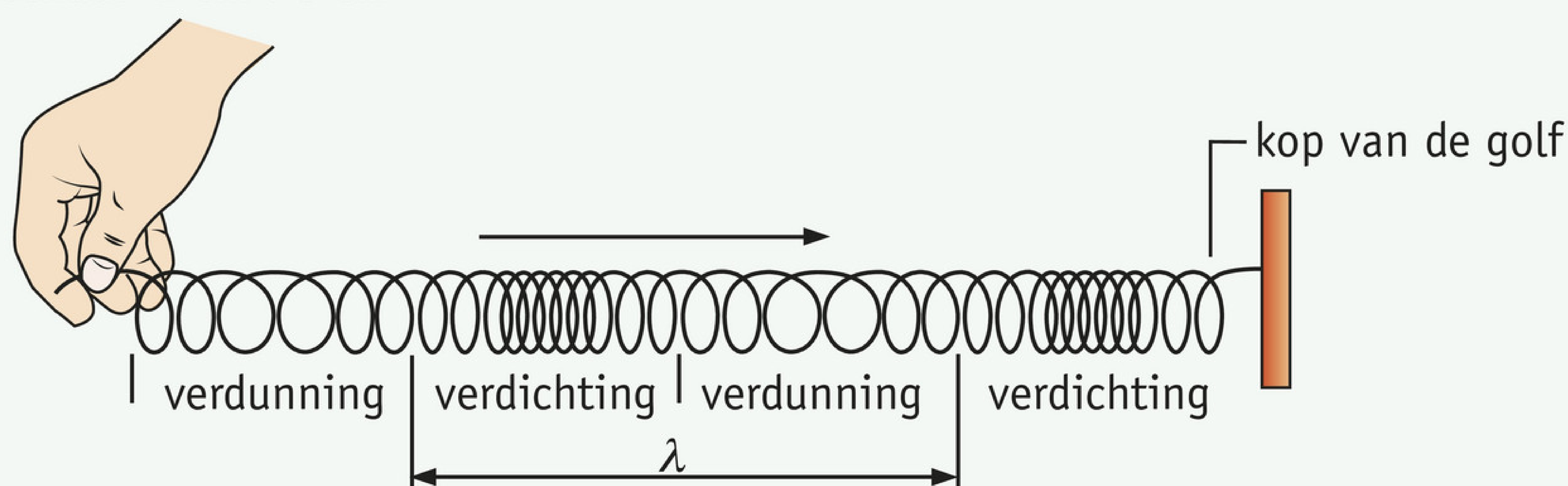
PLUS GOLFLENGTE EN FREQUENTIE

11 Myriam leest op haar wifi-router: 2,4 GHz.

a Bereken de golflengte van de golven die de router uitzendt.

b Een telefoonprovider gebruikt voor de 4G-verbinding een frequentie waarbij de golflengte van de gebruikte golven gelijk is aan 37,5 cm.
Bereken de frequentie (in MHz) die de provider gebruikt.

12 In figuur 12 zie je een model van de voortplanting van geluid door lucht. Als je je hand van links naar rechts beweegt, bewegen er verdichtingen en verdunningen door de veer. De golflengte λ van deze golven is gelijk aan de afstand van 1 verdichting plus 1 verdunning.



figuur 12 Een golf in een veer.

a Bepaal met behulp van figuur 12 zo nauwkeurig mogelijk de golflengte λ van de golf.

b De hand in figuur 12 gaat 40× heen en weer in 10 seconden. Bereken de golfsnelheid.

c Beyza spant de veer strakker en beweegt haar hand ook 40 maal heen en weer in 10 seconden. Het blijkt dat de snelheid van de golven dan groter wordt.
Leg uit wat er nu gebeurt met de golflengte.

d Geluidsgolven planten zich in de lucht ook voort als verdichtingen en verdunningen. De geluidssnelheid bij kamertemperatuur is $v = 3{,}4 \cdot 10^2$ m/s. Een stemvork brengt een geluid voort met een frequentie van 440 Hz. Bereken de golflengte van deze geluidsgolven.

e Een andere stemvork heeft een frequentie van 880 Hz.
Leg uit of deze stemvork golven produceert met een grotere of een kleinere golflengte.

2 Licht en lenzen

LEERDOELEN

6.2.1 Je kunt de kenmerken van positieve en negatieve lenzen uitleggen.
6.2.2 Je kunt de voorwerpsafstand en beeldafstand beschrijven.
6.2.3 Je kunt de beeldafstand van een lens bepalen door middel van een constructie met twee constructiestralen.
PLUS 6.2.4 Je kunt berekeningen maken met de lenzenformule.

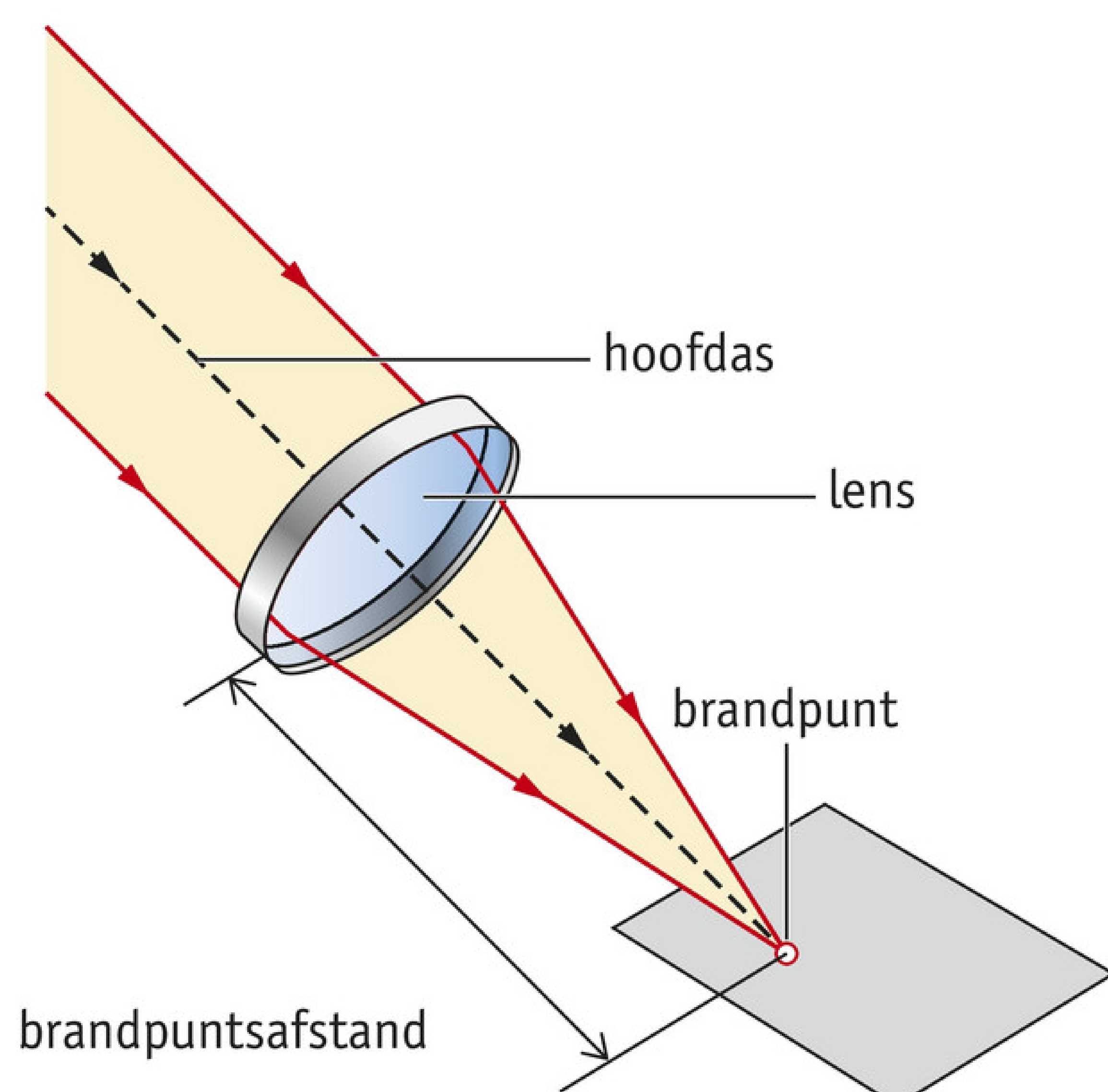
Lenzen kom je in allerlei apparaten tegen: camera's, verrekijkers, beamers en telefoons. De glazen in een bril zijn ook lenzen, net als contactlenzen en de 'natuurlijke' lenzen in je ogen. Dankzij lenzen kun je de wereld om je heen scherp zien en beelden van die wereld vastleggen in foto's en filmpjes.

LICHTBREKING BIJ EEN LENS

PROEF 1

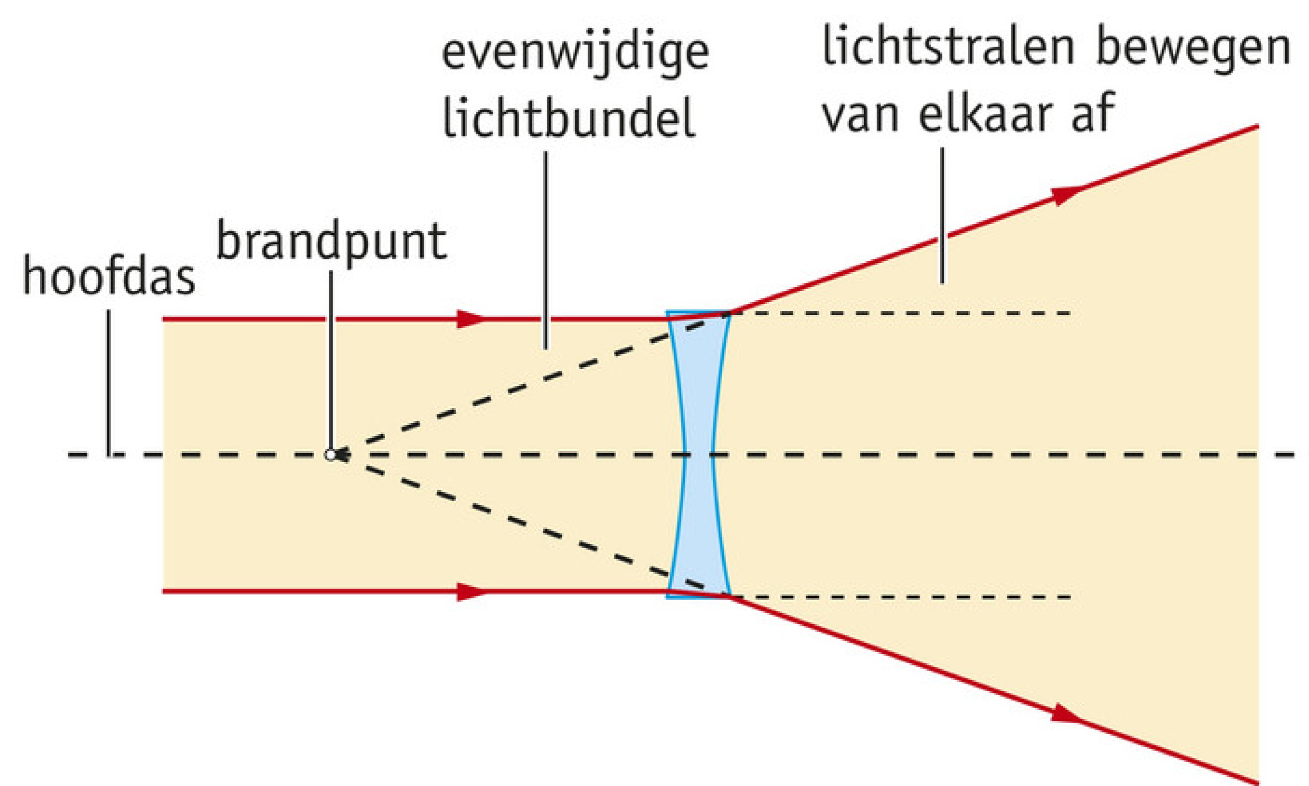
Licht beweegt langs rechte lijnen. Maar als licht onder een hoek op een stuk glas of een andere doorzichtige stof valt, verandert het van richting. Dit verschijnsel heet **lichtbreking**. Van dit verschijnsel wordt gebruikgemaakt in een brandglas: een lens waarmee je een bundel zonlicht concentreert in een punt.

In figuur 1 zie je hoe een brandglas het licht breekt. De gebruikte lens is in het midden dikker dan aan de rand. Zo'n lens wordt een **bolle** of **positieve lens** genoemd. Voordat de lichtstralen van de zon op de lens vallen, lopen ze evenwijdig aan de **hoofdas**. Zo noem je de lijn die door het midden van de lens loopt, loodrecht op de lens. Na de lens bewegen de lichtstralen naar elkaar toe en ontmoeten elkaar in één punt: het **brandpunt**.



figuur 1 Zo kun je een vergrootglas als brandglas gebruiken.

Lenzen die in het midden dunner zijn dan aan de rand, bijvoorbeeld de lenzen van een bril, noem je **holle** of **negatieve lenzen**. Als op zo'n negatieve lens lichtstralen evenwijdig aan de hoofdas vallen, dan bewegen de lichtstralen zich na de lens van elkaar af. Het lijkt dan alsof de lichtstralen allemaal vanuit het brandpunt komen (figuur 2).



figuur 2 De werking van een negatieve lens.

In tekeningen wordt het brandpunt aangegeven met de letter F (van *focus* = brandpunt). De afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt F wordt de **brandpuntsafstand** *f* genoemd. De brandpuntsafstand is een belangrijke eigenschap van een lens. Hoe kleiner de brandpuntsafstand is, des te sterker breekt de lens het licht.

BEELDEN MAKEN MET EEN LENS

PROEF 2

Met een positieve lens kun je een voorwerp afbeelden op een scherm. Dat doe je bijvoorbeeld als je een foto maakt. Een lens in de camera beeldt de wereld voor de lens verkleind af op een lichtgevoelige beeldchip. Een kleine computer in de camera legt het beeld punt voor punt vast in een bestand. Het bestand wordt daarna opgeslagen in het geheugen. Daardoor kun je het beeld later bekijken, uploaden of afdrukken.

Als je een foto neemt, valt er licht van het voorwerp op de lens. Meestal is dit gereflecteerd licht, soms is het licht dat door het voorwerp zelf wordt uitgezonden, zoals bij een lamp. De lens zorgt ervoor dat licht uit één punt van het voorwerp ook weer in één punt bij elkaar komt. Dat punt noem je het **beeldpunt** B van het voorwerpspunt V. Een foto bestaat uit miljoenen van zulke beeldpunten.

Als de beeldchip op de juiste afstand van de lens staat, krijg je een scherpe foto. Zo’n foto bestaat uit beeldpunten die elkaar niet overlappen. Als de chip niet op de juiste afstand staat, krijg je een foto die onscherp is. Zo’n foto bestaat uit kleine cirkeltjes die elkaar gedeeltelijk overlappen, zodat de grenzen tussen de kleurvlakken vaag worden. Als je scherpstelt op een voorwerp in de voorgrond, wordt de achtergrond niet scherp weergegeven (figuur 3).



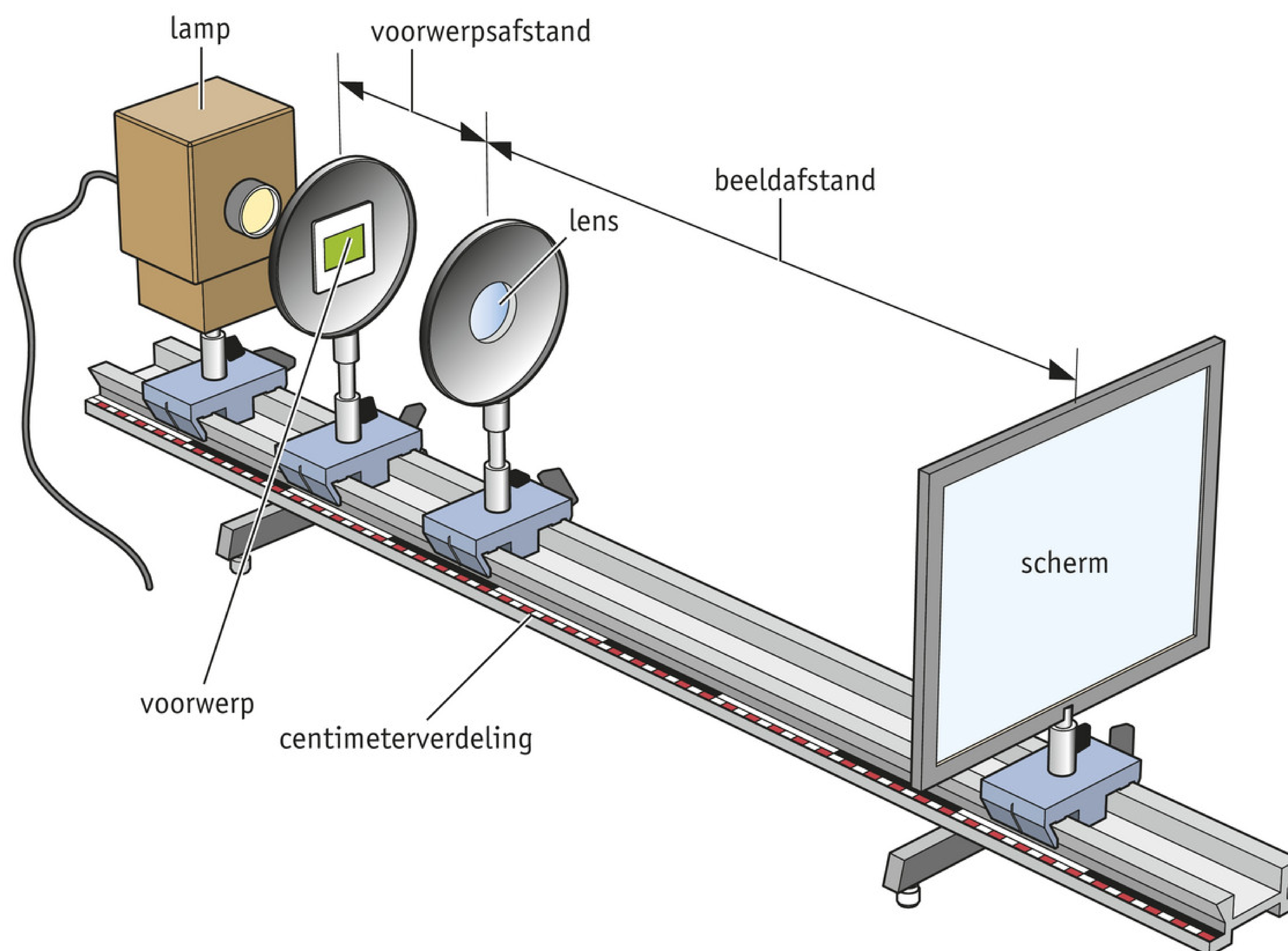
figuur 3 De voorgrond is scherp afgebeeld, de achtergrond onscherp.

VOORWERPSAFSTAND EN BEELDAFSTAND

Bij het scherpstellen van een camera stem je twee afstanden op elkaar af:

1 de afstand tussen de lens en het voorwerp; dit is de **voorwerpsafstand** *v*.
2 de afstand tussen de lens en het beeld; dit is de **beeldafstand** *b*.

Met de opstelling van figuur 4 kun je onderzoeken hoe dat scherpstellen werkt. Je schuift het scherm langzaam bij de lens vandaan, tot er op het scherm een volledig scherp beeld is te zien. Je merkt dan dat er bij elke voorwerpsafstand één beeldafstand hoort. Alleen op die afstand is het beeld helemaal scherp.



figuur 4 Zo kun je bij elke voorwerpsafstand de bijbehorende beeldafstand vinden.

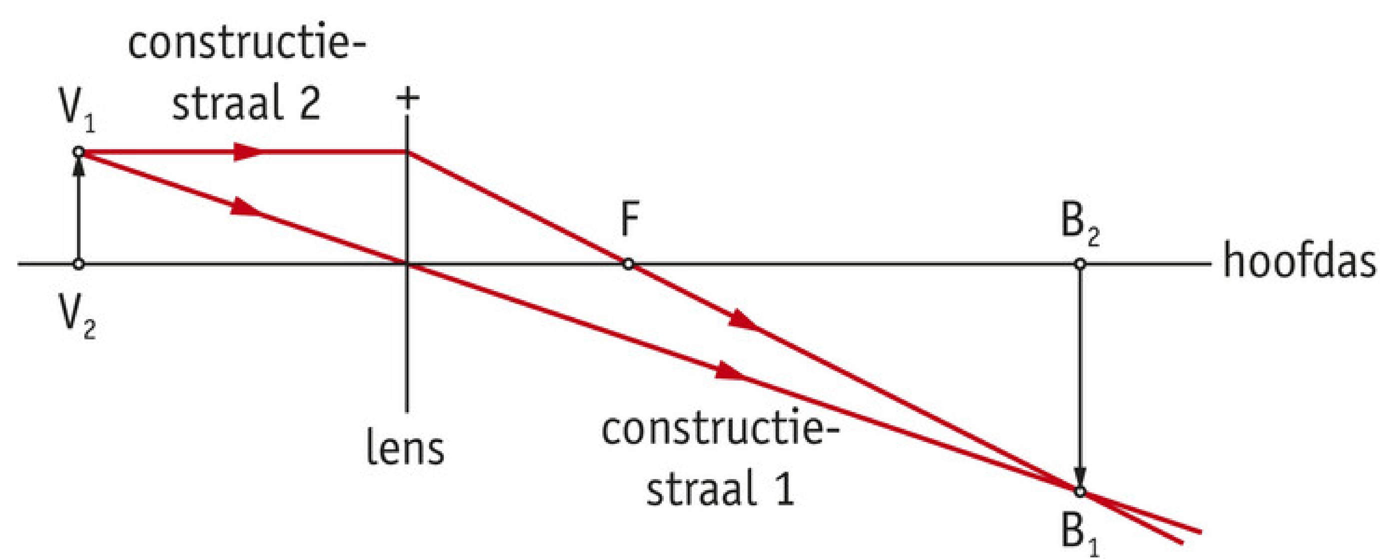
HET BEELD CONSTRUEREN

Je kunt de beeldafstand ook bepalen door een tekening op schaal te maken. Dat heet het beeld **construeren**. Je maakt daarbij gebruik van twee speciale lichtstralen. Van deze **constructiestralen** weet je precies hoe ze lopen:

- Constructiestraal 1 gaat vanaf het voorwerp door het midden van de lens en verandert daarbij niet van richting.
- Constructiestraal 2 loopt tussen het voorwerp en de lens evenwijdig aan de hoofdas. Na de lens gaat deze lichtstraal door het brandpunt F van de lens.

In figuur 5 is getekend hoe je het beeld van een voorwerp construeert:

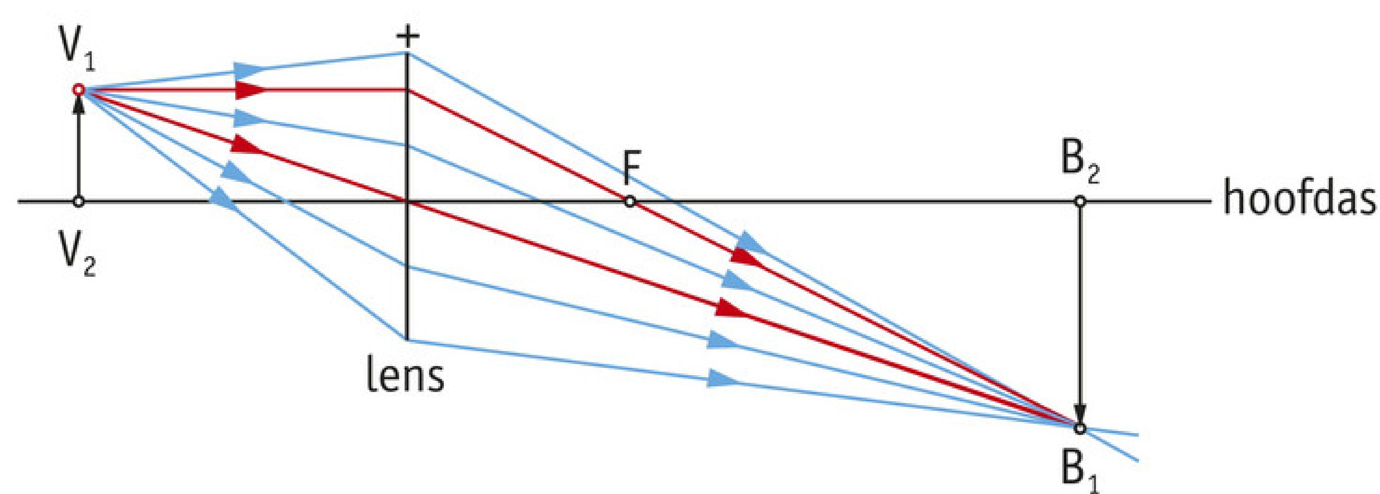
1 Teken de lens en de hoofdas. Teken het brandpunt op de juiste afstand van de lens en zet er de letter F bij.
2 Teken het voorwerp als een pijl V_1V_2 op de juiste afstand voor de lens. V_2 ligt op de hoofdas, V_1 daarboven.
3 Teken de twee constructiestralen vanuit V_1. Teken het beeldpunt B_1 waar de constructiestralen samenkomen.
4 Teken het beeld als een pijl B_1B_2. B_2 ligt op de hoofdas, B_1 daaronder. Het beeld staat dus ondersteboven vergeleken met het voorwerp.



figuur 5 Zo teken je de plaats van het beeld.

Soms is het voorwerp groter dan de lens. In dat geval heb je een truc nodig om het beeld te construeren. Je verlengt in de tekening de lens naar boven en onder, tot hij iets groter is dan het voorwerp. Daarna kun je weer constructiestralen gebruiken om de plaats van het beeld te vinden.

Meestal teken je alleen de twee constructiestralen. Maar als je eenmaal het beeldpunt hebt gevonden, kun je ook tekenen hoe de andere lichtstralen lopen. *Alle* lichtstralen die vanuit V_1 op de lens vallen, worden gebroken naar B_1 (figuur 6). Daardoor zie je een scherp beeldpunt van V_1 en geen lichtcirkeltje, als je het scherm op die plaats neerzet.



figuur 6 Zo kun je het verloop van de overige lichtstralen intekenen. De constructiestralen zijn rood.

PLUS DE LENZENFORMULE

De beeldafstand *b* in de opstelling van figuur 4, waarbij je een scherp beeld op het scherm krijgt, kun je bepalen door een tekening op schaal te maken. Als de voorwerpsafstand *v* en brandpuntsafstand *f* bekend zijn, kun je de juiste beeldafstand ook berekenen door gebruik te maken van de **lenzenformule**:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v}$$

Hierin is:

- *f* de brandpuntsafstand in meter (m);
- *b* de beeldafstand in meter (m);
- *v* de voorwerpsafstand in meter (m).

In plaats van de eenheid meter mag je ook een andere eenheid zoals centimeter in de formule gebruiken, zolang je voor alle drie de grootheden maar dezelfde eenheid gebruikt.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Gemma wil een film afspelen op een beamer. Als scherm gebruikt ze een witte muur. De projectielens van de beamer heeft een brandpuntsafstand van 14,5 cm. De afstand tussen het lichtgevende lcd-schermpje in de beamer (het voorwerp) en de lens is 15,0 cm.

Bereken hoe groot Gemma de afstand tussen de projectielens en de muur moet maken om een scherp beeld te krijgen.

gegevens f = 14,5 cm
v = 15,0 cm

gevraagd b = ?

uitwerking
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v}$$
$$\frac{1}{14{,}5} = \frac{1}{b} + \frac{1}{15}$$
$$\frac{1}{b} = \frac{1}{14{,}5} - \frac{1}{15{,}0}$$
$$\frac{1}{b} = 0{,}002\ 30$$
$$b = \frac{1}{0{,}002\ 30} = 435 \text{ cm}$$

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

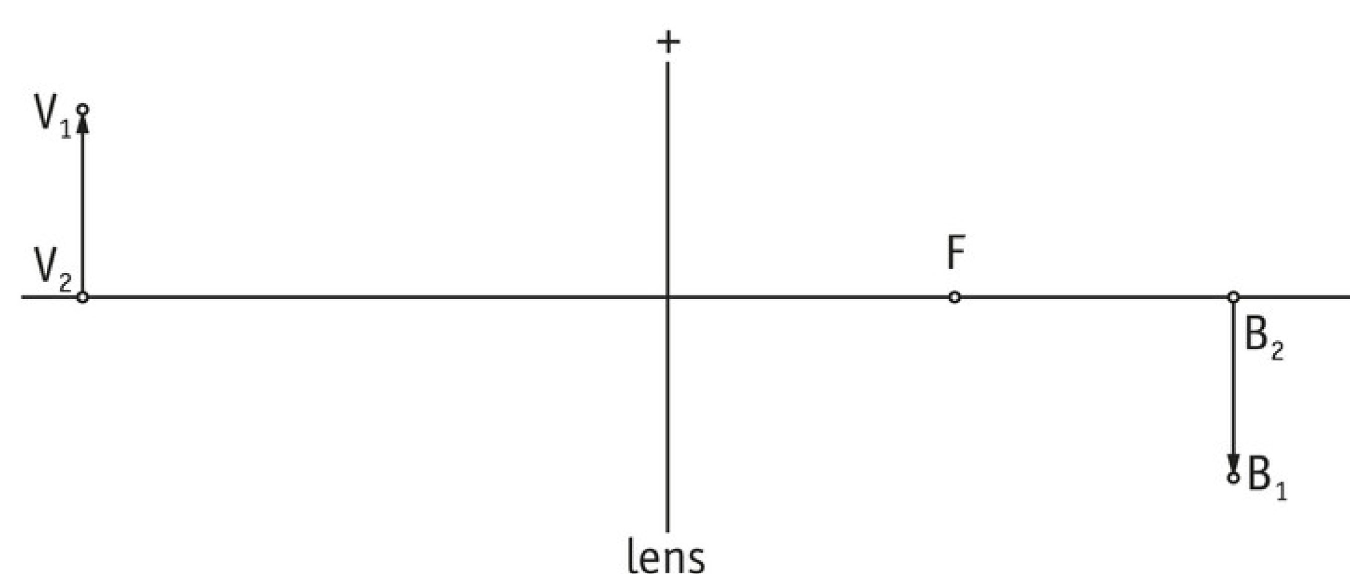
LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe kun je aan een lens zien of hij positief is?
b Hoe wordt een evenwijdige bundel zonlicht gebroken door een positieve lens?
c Wat doet de lens in je camera met licht dat uit één punt van een voorwerp komt?
d Wat is er bij het nemen van een foto fout gegaan als het resultaat onscherp is?

2 Een voorwerp V_1V_2 staat voor een lens.

a Teken in figuur 7 de twee constructiestralen.
b Wat betekent de letter F in figuur 7?
c Het aantal brandpunten van een positieve lens is ....



figuur 7 De constructiestralen ontbreken.

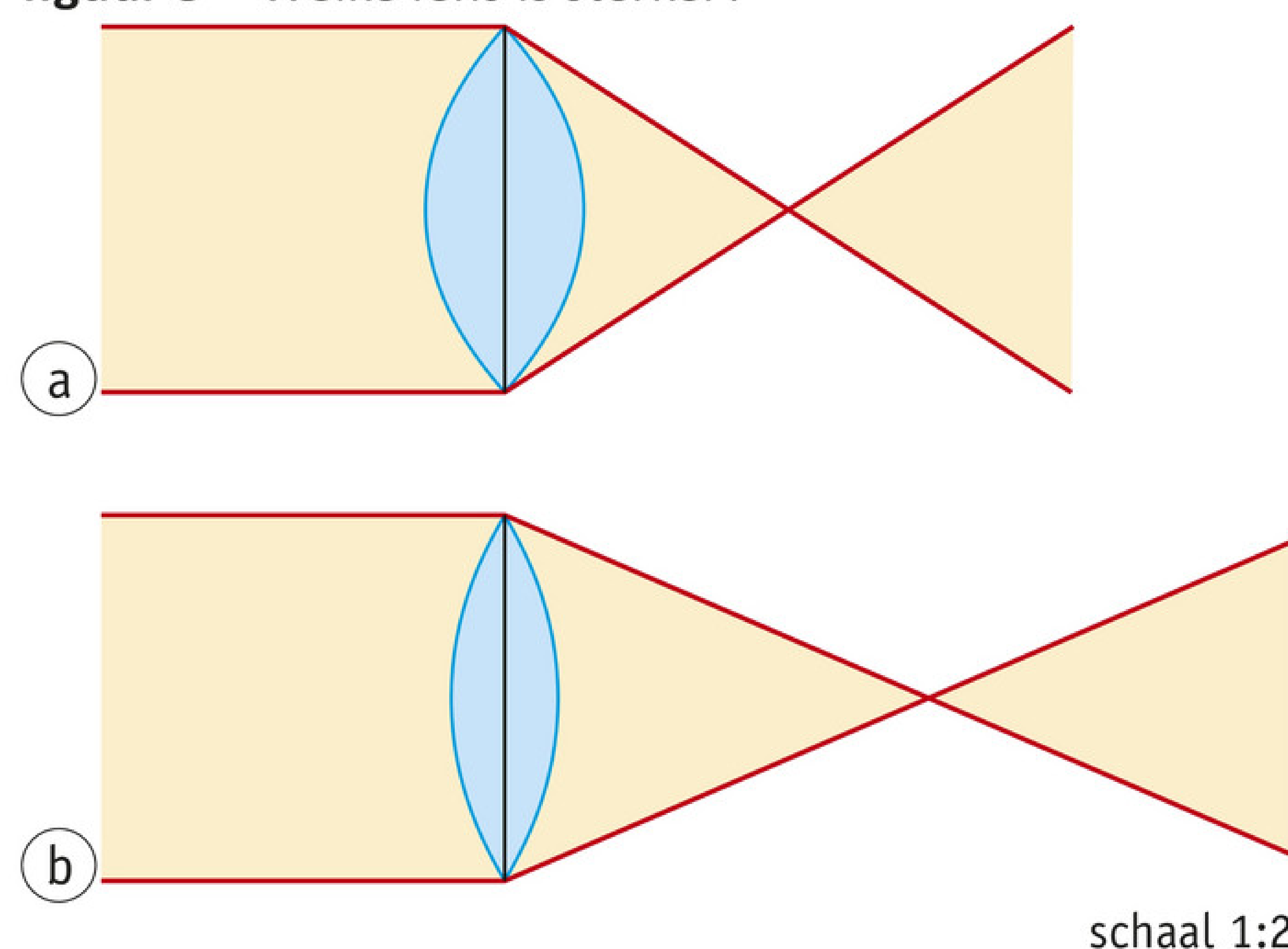
TOEPASSING

3 In figuur 8 zijn twee lenzen in doorsnede getekend.

a Welke lens breekt het licht het sterkst?

b De schaal van de tekening is 1 : 2.
Bepaal de brandpuntsafstand van elke lens.

figuur 8 Welke lens is sterker?



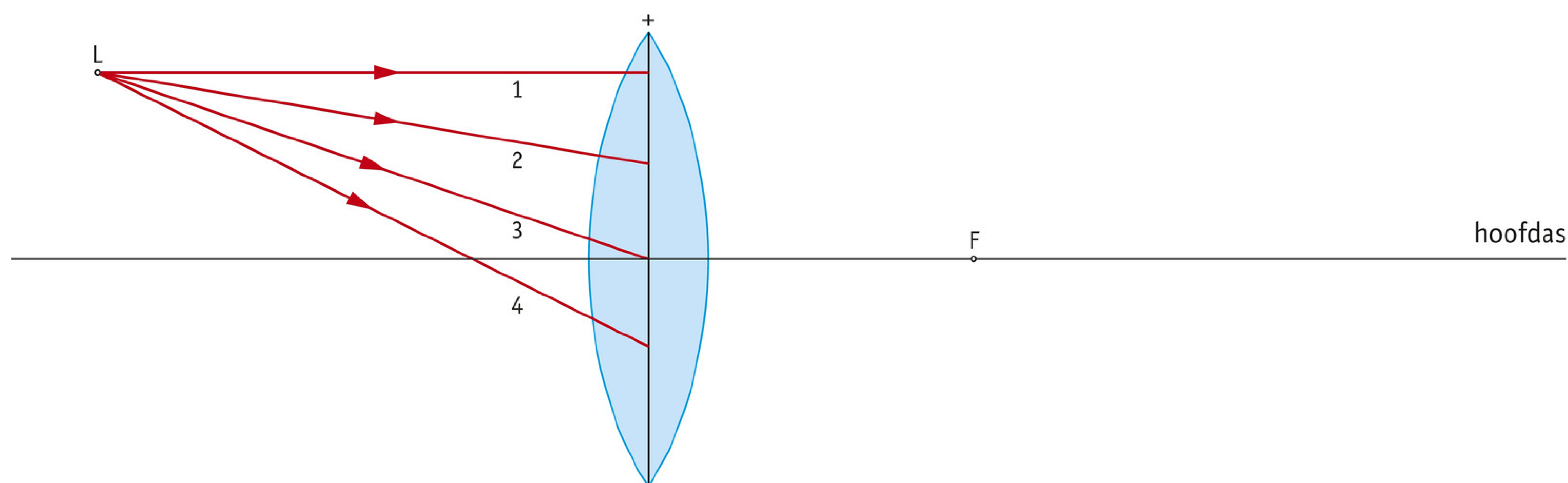
4 Voor een lens staat een lampje (L) (figuur 9). Je ziet vier lichtstralen die op de lens vallen.

a Welke twee lichtstralen zijn constructiestralen? *1 / 2 / 3 / 4*

b Teken hoe de constructiestralen na de lens verder lopen.

c Teken hoe de andere twee lichtstralen worden gebroken.

d Stel je voor dat iemand een scherm vlak achter de lens zet en daarna langzaam naar rechts beweegt, tot voorbij de beeldafstand.
Beschrijf wat er dan op het scherm te zien is.



figuur 9 Hoe lopen de lichtstralen verder?

5 De foto in figuur 10 is genomen met een camera die in de stand *manual* stond.

a Waaraan kun je zien dat de fotograaf het beeld niet goed heeft scherpgesteld?

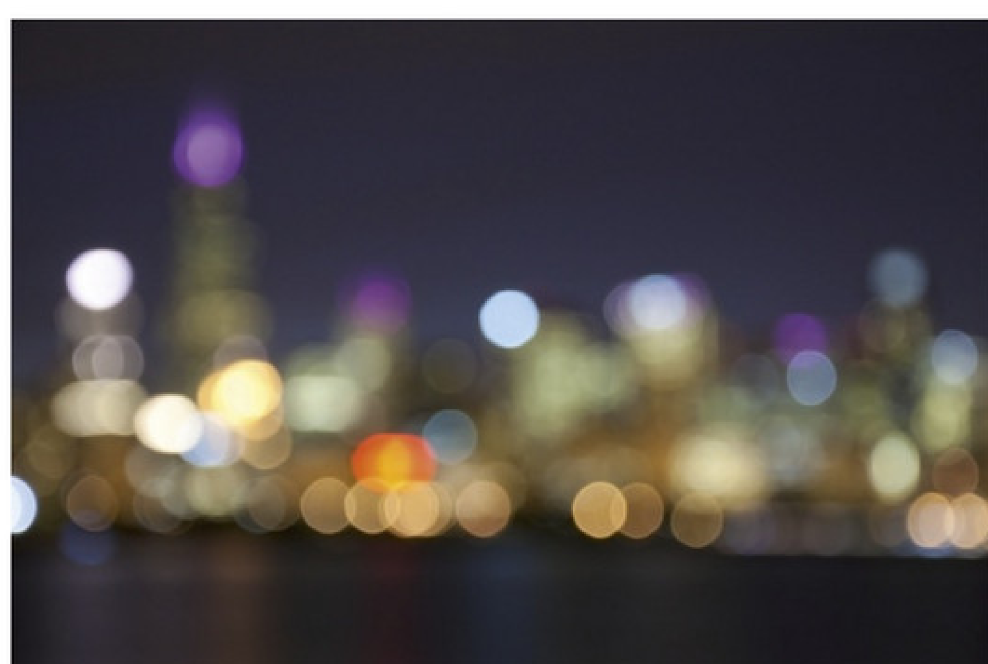
b Welke voorwerpen zijn op deze foto afgebeeld als vage lichtcirkels?

c Bij het nemen van de foto was de afstand tussen de lens en de beeldchip groter dan de beeldafstand.
Hoe zullen de lichtcirkels veranderen als de fotograaf die afstand nog groter maakt?

d Hoe zullen de lichtcirkels veranderen als de fotograaf die afstand steeds kleiner maakt?

e Een moderne camera stelt scherp door de lens afwisselend bij de beeldchip vandaan en naar de beeldchip toe te bewegen.
Leg uit hoe de lichtcirkels op de beeldchip daarbij veranderen.

f Wanneer 'weet' de camera dat het beeld goed is scherpgesteld?



figuur 10 De skyline van Chicago bij nacht.

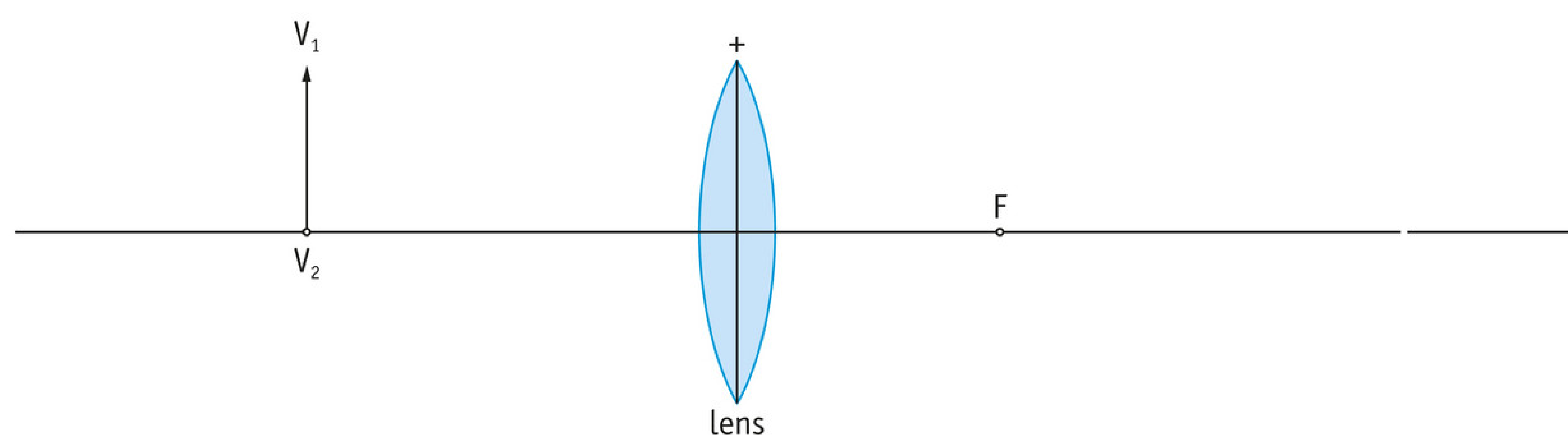
6 Een lens maakt een scherp beeld van een voorwerp V_1V_2 (figuur 11).

a Construeer het beeld van V_1.

b Teken het beeld van V_2.

c Waar moet je een scherm neerzetten om een scherp beeld op te vangen? Teken het.

d Hoe groot zijn de voorwerpsafstand en de beeldafstand?

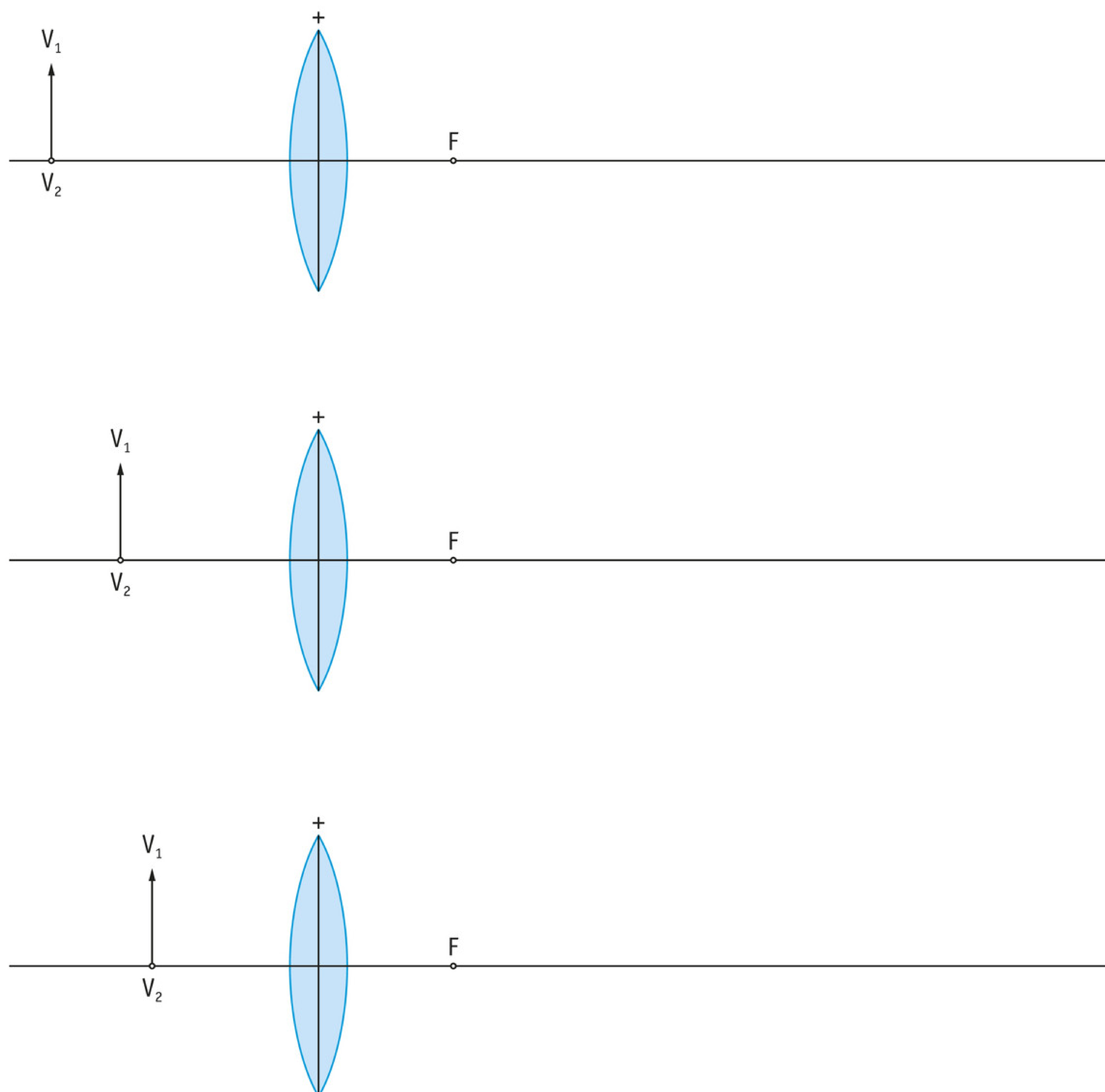


figuur 11 Constructie van een beeld.

★ 7 Abdul heeft bij een practicum een dia in een lichtkastje gezet. Op de dia is een pijl te zien. Abdul zet het lichtkastje steeds dichter bij een positieve lens (figuur 12).

a Construeer (teken) met de twee constructiestralen de plaats van het beeld B_1B_2 in elk van de drie tekeningen.

b Hoe verandert het beeld als het voorwerp naar de lens toe wordt geschoven?



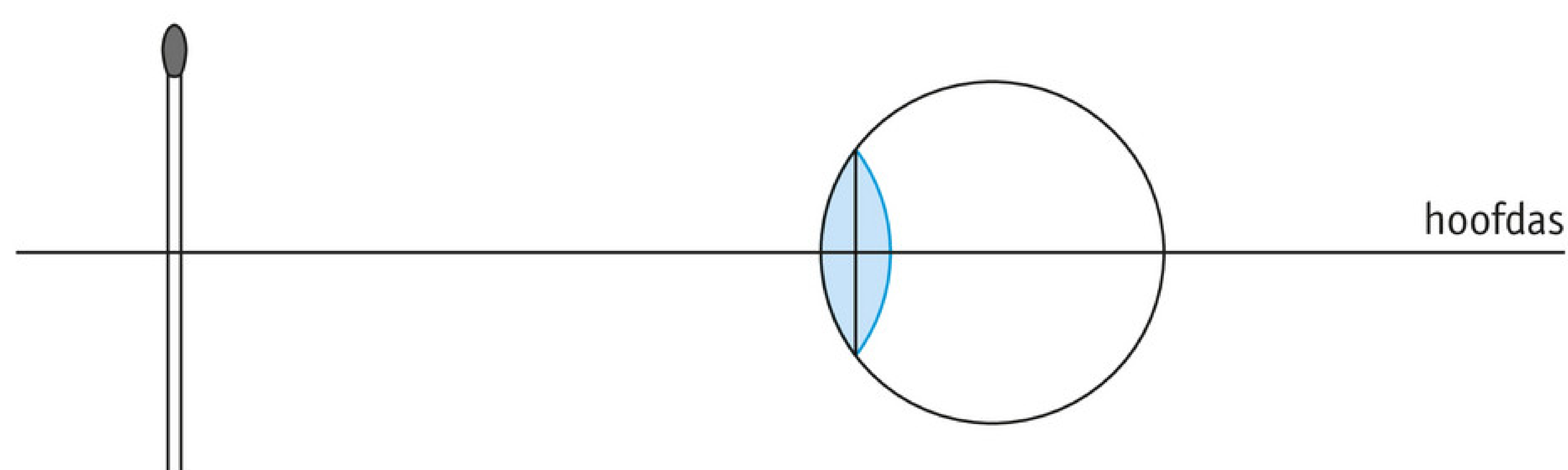
figuur 12 De proef van Abdul.

★ 8 In figuur 13 houdt Yourka een lucifer voor zijn linkeroog. Hij kan de lucifer scherp zien.

a Teken het beeld van de lucifer op het netvlies.

b Het beeld is *vergroot* / *verkleind*.

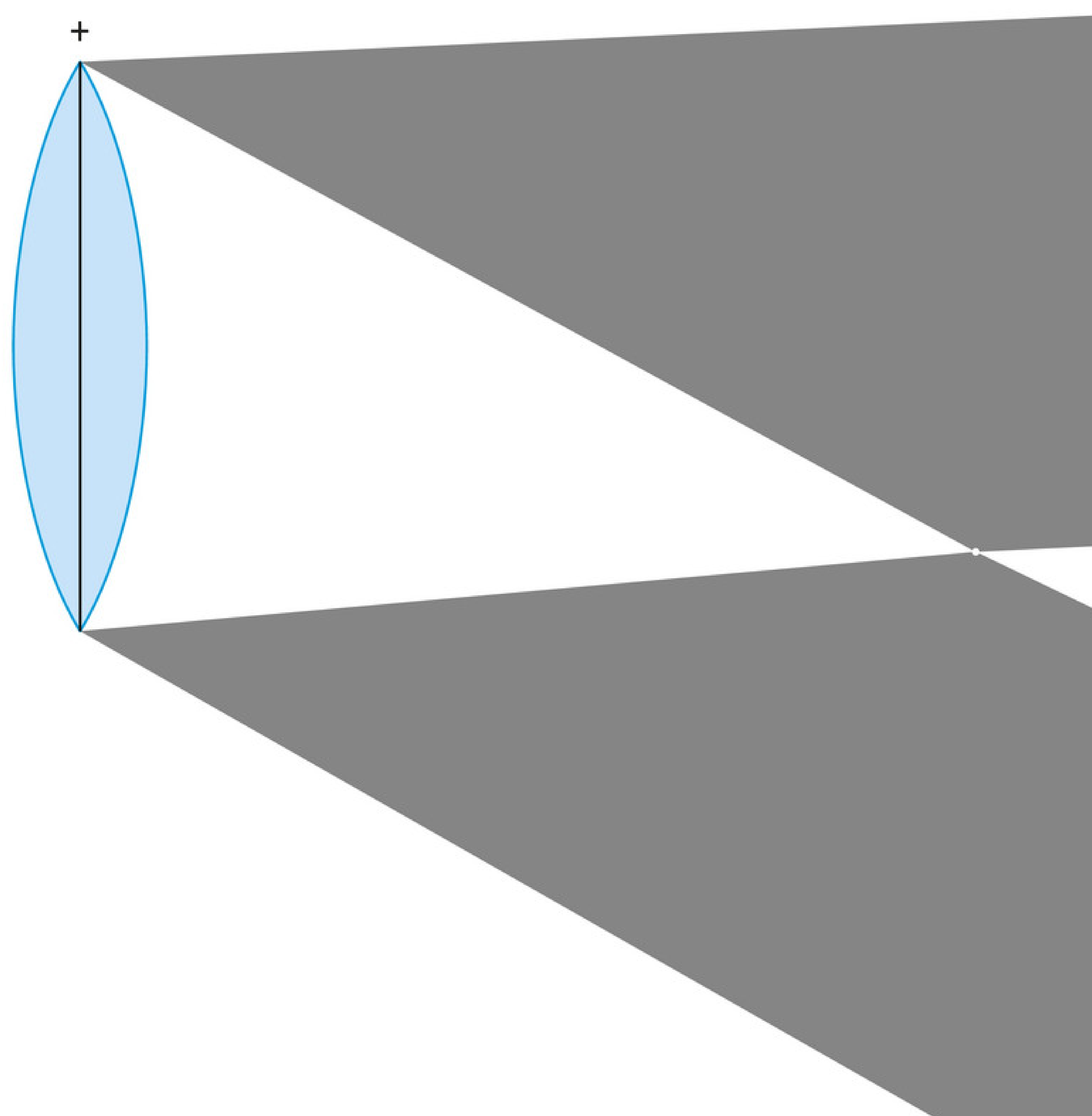
c Het beeld staat *rechtop* / *op z'n kop*.



figuur 13 Yourka ziet de lucifer scherp.

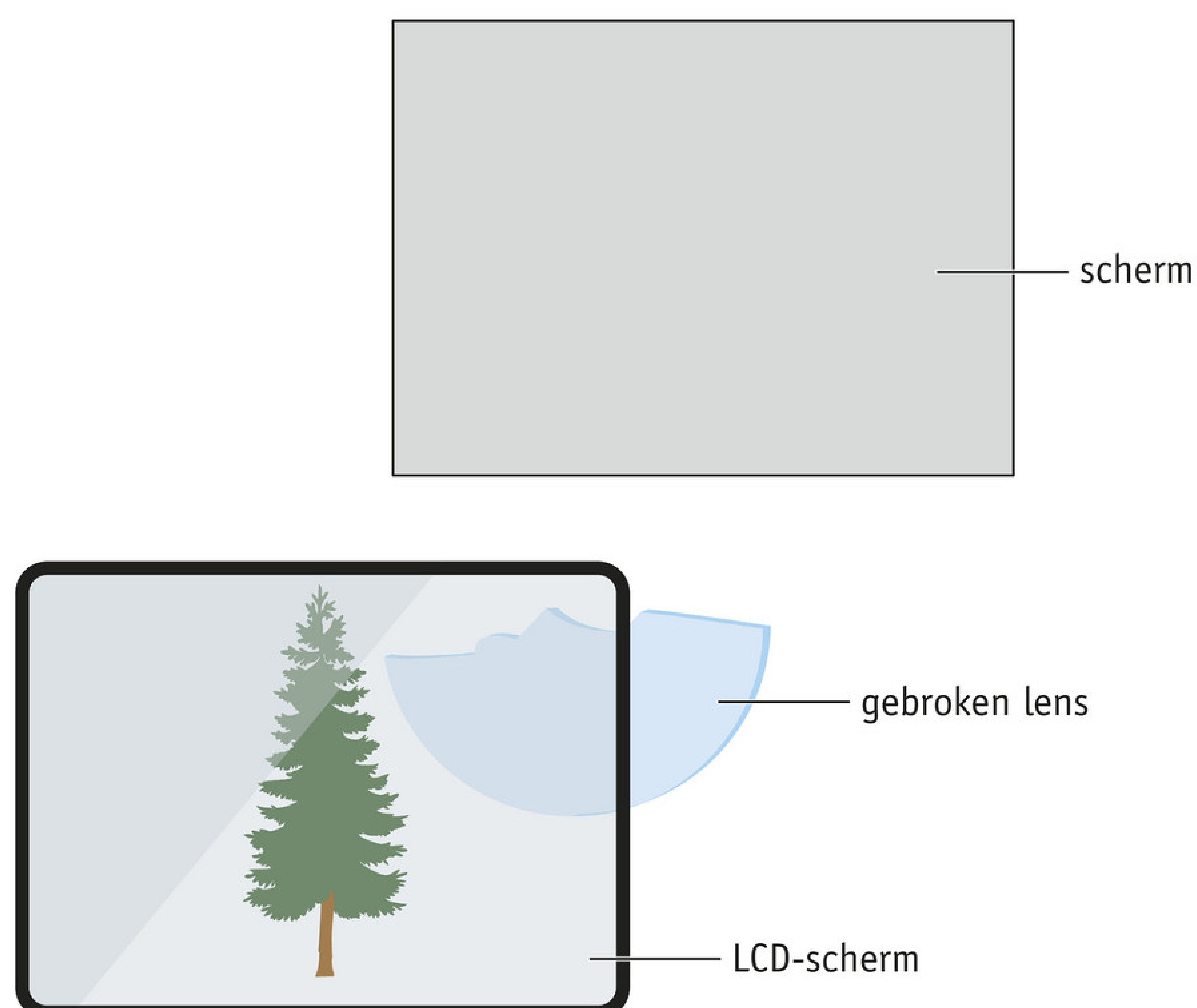
★ 9 In figuur 14 is getekend hoe een positieve lens het licht van een lampje L breekt. Bepaal de brandpuntsafstand van de lens met de gegevens in de tekening.

L



figuur 14 Waar is het brandpunt?

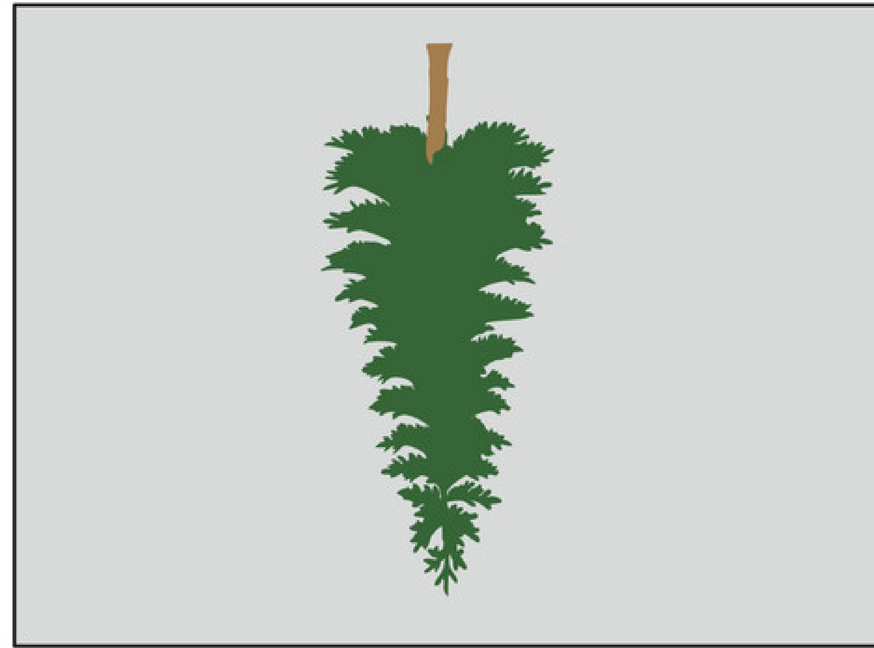
★ 10 Samuel houdt een presentatie over bomen. Net voordat hij de presentatie moet houden is zijn beamer op de grond gevallen en is de lens gebroken. In figuur 15 zijn de lens en de afbeelding van de boom op het schermpje in de beamer schematisch getekend. Samuel besluit dat de presentatie toch doorgaat.

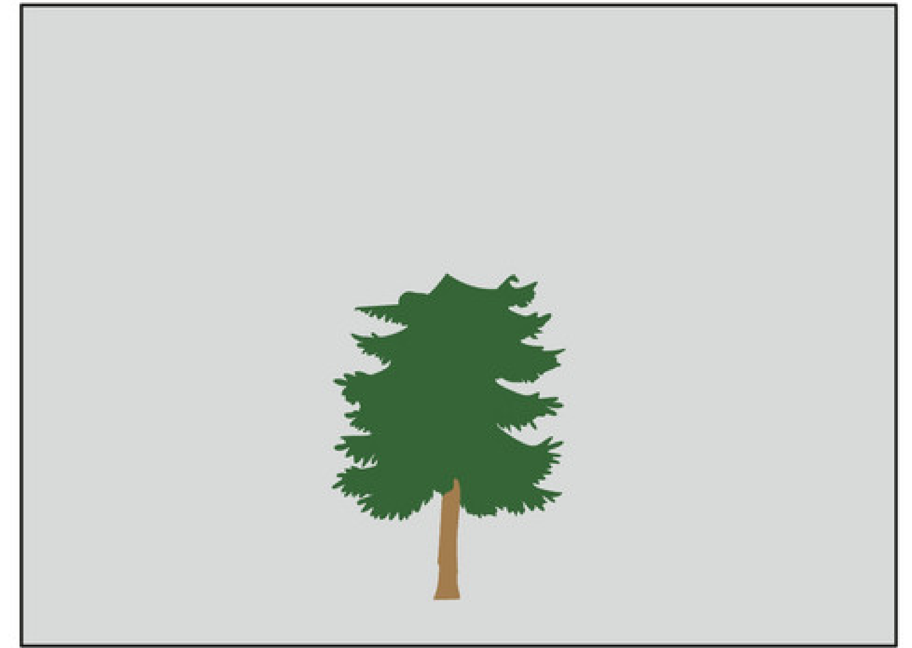


figuur 15 Afbeelding voor een gebroken lens.

a Welke figuur geeft het best weer hoe de boom nu wordt afgebeeld op het scherm?

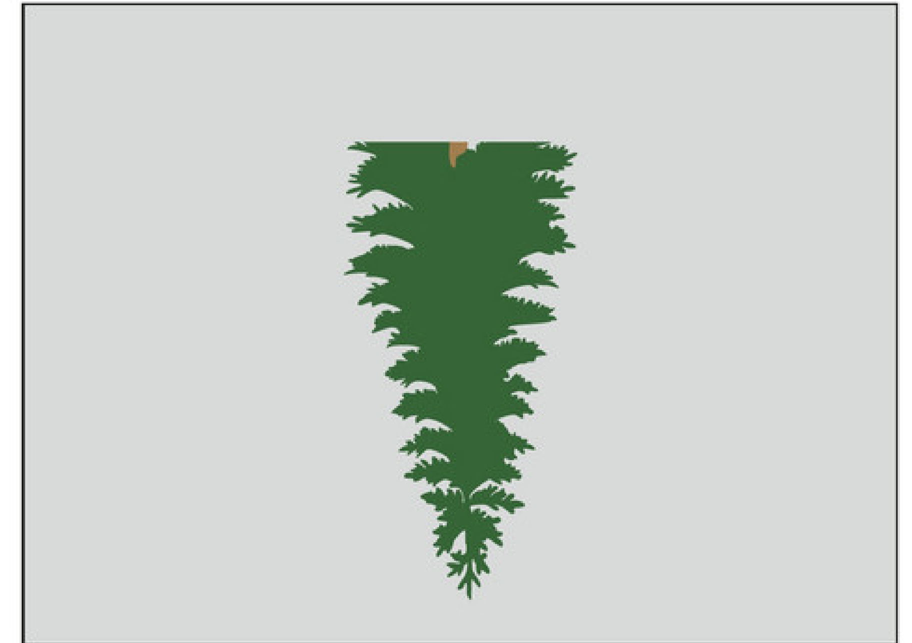
○ A


○ B


○ C


○ D


○ E


○ F


b Je vergelijkt op het scherm de afbeeldingen van de boom die zijn gemaakt met een onbeschadigde lens en met de gebroken lens.
Welke bewering is juist?
- ○ A De afbeelding met de gebroken lens is minder scherp dan de afbeelding met de onbeschadigde lens.
- ○ B De afbeelding met de gebroken lens is minder goed verlicht dan de afbeelding met de onbeschadigde lens.
- ○ C Er is geen verschil tussen de afbeeldingen die zijn gemaakt met de twee lenzen.

 **Test je kennis met de *Test jezelf*.**

PLUS DE LENZENFORMULE

11 Karen houdt van fotograferen. In figuur 16a zie je een foto die ze heeft gemaakt van een vlinder. Onder de foto is de voorwerpsafstand aangegeven. De lens in haar camera heeft een brandpuntsafstand van 50 mm.

figuur 16 De foto's van Karen.



v = 20 cm



v = 100 m

a Bereken de beeldafstand: de afstand tussen de lens en de lichtgevoelige chip in de camera die het beeld opvangt. Schrijf de volledige berekening op.

b Karen wil vervolgens een foto maken van een bouwkraan (figuur 16b). De voorwerpsafstand is weer aangegeven onder de foto.
Bereken opnieuw de beeldafstand.

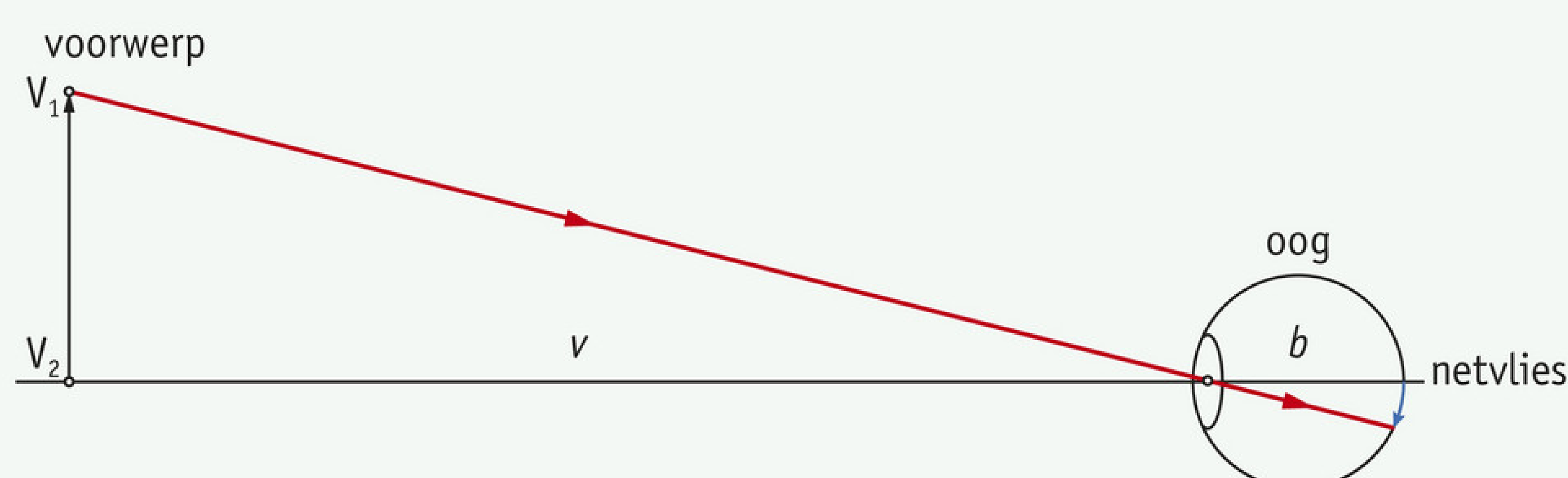
c Wat valt je op als je de gevonden beeldafstand en gegeven brandpuntsafstand uit opdracht b met elkaar vergelijkt?

d Als het voorwerp heel ver van de lens staat, mag je zeggen dat de beeldafstand (vrijwel) gelijk is aan de ....

12 In je oog zit een lens. In figuur 17 zie je hoe je oog een scherp beeld maakt van een voorwerp op het netvlies, 'het scherm'.
De beeldafstand *b*, de afstand tussen lens en netvlies, ligt hierbij vast. In het menselijk oog is dit gemiddeld 1,7 cm. Als je het voorwerp verder van de lens plaatst, moet je oog zich aanpassen om weer een scherp beeld op het netvlies te krijgen.

a Leg met de lenzenformule uit welke grootheid het menselijk oog moet veranderen om steeds een scherp beeld te kunnen maken bij een veranderende voorwerpsafstand *v*.

b In figuur 17 wordt een scherp beeld gemaakt van het voorwerp. Het voorwerp wordt vervolgens verder van de ooglens geplaatst.
Leg met de lenzenformule uit of de brandpuntsafstand van je oog dan groter of juist minder groot moet worden om weer een scherp beeld op het netvlies te krijgen.



figuur 17 Zo maakt je oog een beeld van een voorwerp.

3 Röntgenfoto's maken

LEERDOELEN

6.3.1 Je kunt drie processen beschrijven die kunnen optreden als elektromagnetische straling op een voorwerp valt.
6.3.2 Je kunt beschrijven hoe een röntgenfoto wordt gemaakt.
6.3.3 Je kunt de risico's en gevaren van röntgenstraling benoemen.
6.3.4 Je kunt maatregelen benoemen die de hoeveelheid straling verkleinen die iemand ontvangt.
PLUS 6.3.5 Je kunt berekeningen maken met de halveringsdikte.

Röntgenstraling gaat, in tegenstelling tot licht, dwars door je heen. Dat maakt het mogelijk om beelden te maken van de situatie in een lichaam. Dankzij moderne technieken is er zo weinig straling nodig voor het maken van zo'n foto dat het gezondheidsrisico erg klein is.

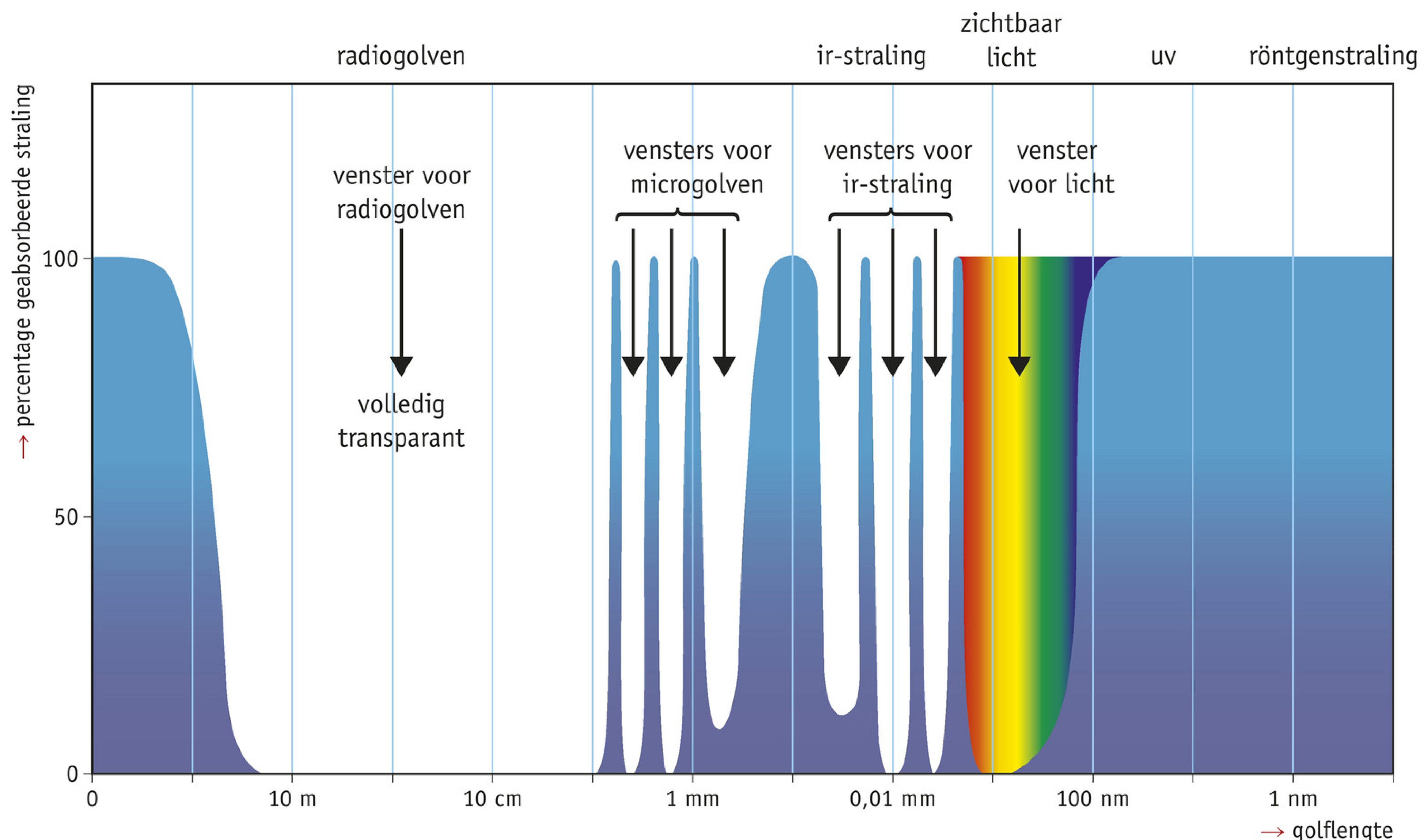
TRANSMISSIE, REFLECTIE EN ABSORPTIE

Als elektromagnetische straling op een voorwerp valt, kunnen er drie dingen gebeuren:

1 **Transmissie**: de straling wordt doorgelaten. Dat zie je bij zonlicht dat door een glazen ruit heen valt.
2 **Reflectie**: de straling wordt gereflecteerd. Dat zie je als licht wordt weerkaatst door een spiegel of een witte muur.
3 **Absorptie**: de straling wordt opgenomen. Dat zie je als een zwart gordijn het licht 'opslokt' en omzet in warmte.

Deze processen treden vaak alle drie tegelijk op. Een ruit laat niet al het licht door dat erop valt. Een deel van het licht wordt gereflecteerd en een ander deel wordt door het glas geabsorbeerd.

De verschillende soorten elektromagnetische straling vertonen heel uiteenlopend gedrag. Licht wordt bijvoorbeeld doorgelaten door de atmosfeer, terwijl gamma-, röntgen- en uv-straling met een korte golflengte juist worden geabsorbeerd. Bij ir-straling en radiogolven hangt het van de golflengte af of ze de atmosfeer kunnen passeren. De atmosfeer is transparant voor de ene soort straling, maar totaal ondoorzichtig voor de andere (figuur 1).



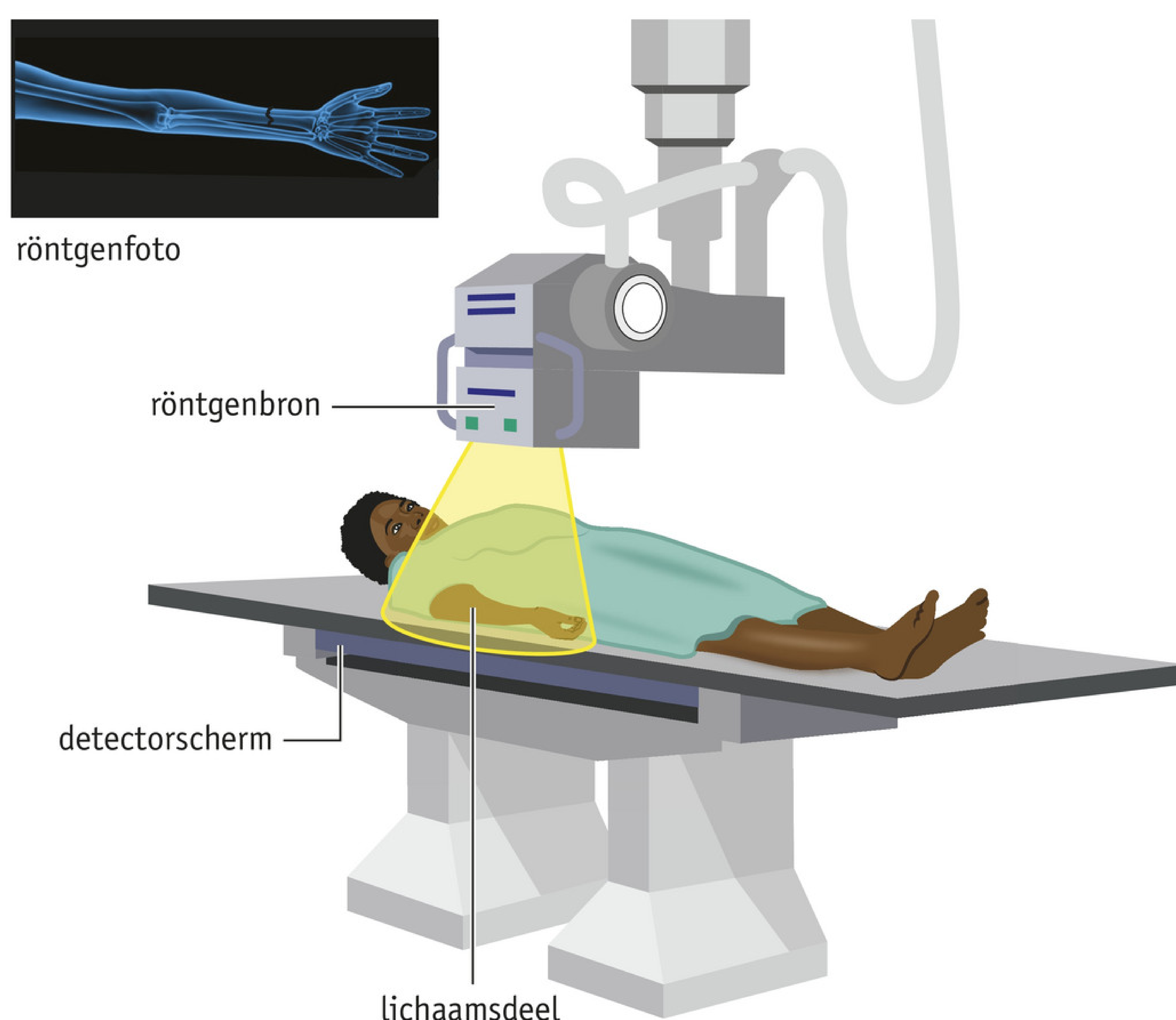
figuur 1 De doorzichtigheid van de atmosfeer voor verschillende soorten straling.

Als straling op het menselijk lichaam valt, gedraagt de ene soort straling zich ook anders dan de andere. Je lichaam is bijvoorbeeld ondoorzichtig voor licht: je kunt niet door je handen of door je borstkas heen kijken. Licht dat op je lichaam valt, wordt deels gereflecteerd en deels geabsorbeerd. Röntgenstraling kan juist gemakkelijk door een lichaam heen bewegen. Deze eigenschap van röntgenstraling maakt het mogelijk om beelden te maken van de situatie in een lichaam.

BEELDEN MAKEN MET RÖNTGENSTRALING

Gewone foto's worden gemaakt met behulp van een lens. Met röntgenstraling lukt dat niet. Dat heeft twee oorzaken. In de eerste plaats wordt röntgenstraling niet door voorwerpen gereflecteerd, zoals licht. De straling beweegt gewoon verder, door een voorwerp heen. In de tweede plaats wordt röntgenstraling nauwelijks gebroken bij de overgang tussen twee (voor röntgenstraling) doorzichtige stoffen. Het is daardoor niet goed mogelijk om röntgenstraling met een lens te bundelen.

Een röntgenfoto wordt daarom volgens een ander principe gemaakt (figuur 2). Aan de ene kant van het te onderzoeken lichaamsdeel wordt een **röntgenbron** opgesteld. Aan de andere kant van het lichaamsdeel wordt een **detectorscherm** geplaatst. Bij het nemen van een foto zendt de bron een korte flits röntgenstraling uit. De zachte weefsels laten deze straling grotendeels door, terwijl de botten juist veel straling absorberen. Op het scherm ontstaat daardoor een schaduwbeeld van de botten in het lichaam, dat door de detectoren kan worden vastgelegd.



figuur 2 Zo wordt een röntgenfoto gemaakt.

Het is gebruikelijk om röntgenfoto's als negatief weer te geven (figuur 3). Hierdoor steken de schaduwen van de botten (met hun lage transmissie) wit af tegen de omringende weefsels (met hun hoge transmissie). Eerst was dat geen bewuste keuze: er werd fotografische film gebruikt, die bij ontwikkeling vanzelf een negatief beeld opleverde. Maar moderne apparatuur levert digitale beelden die even goed als positief weergegeven kunnen worden. Artsen geven meestal de voorkeur aan negatieven, omdat details daarop beter zichtbaar zijn.



figuur 3 Een röntgenfoto van een gebroken bovenarm waarin een metalen plaat is aangebracht. De schaduw van het metaal is nog lichter dan die van de botten.

GEVAREN VAN RÖNTGENSTRALING

In 1895 ontdekte de Duitse natuurkundige Wilhelm Röntgen het bestaan van röntgenstraling (figuur 4). Al snel gingen artsen gebruikmaken van zijn ontdekking. Ze gebruikten röntgenbeelden onder andere om botbreuken te bekijken. Het was daarbij gebruikelijk dat artsen gebroken lichaamsdelen vasthielden, zodat ze niet bewogen tijdens het bestralen. Hierdoor werden de artsen elke keer ook zelf bestraald.



figuur 4 Röntgen groeide op in Nederland. Deze plaquette hangt in Utrecht op een huis waarin hij tijdens zijn studie woonde. Links zie je zijn eerste röntgenfoto, van de hand van zijn vrouw.

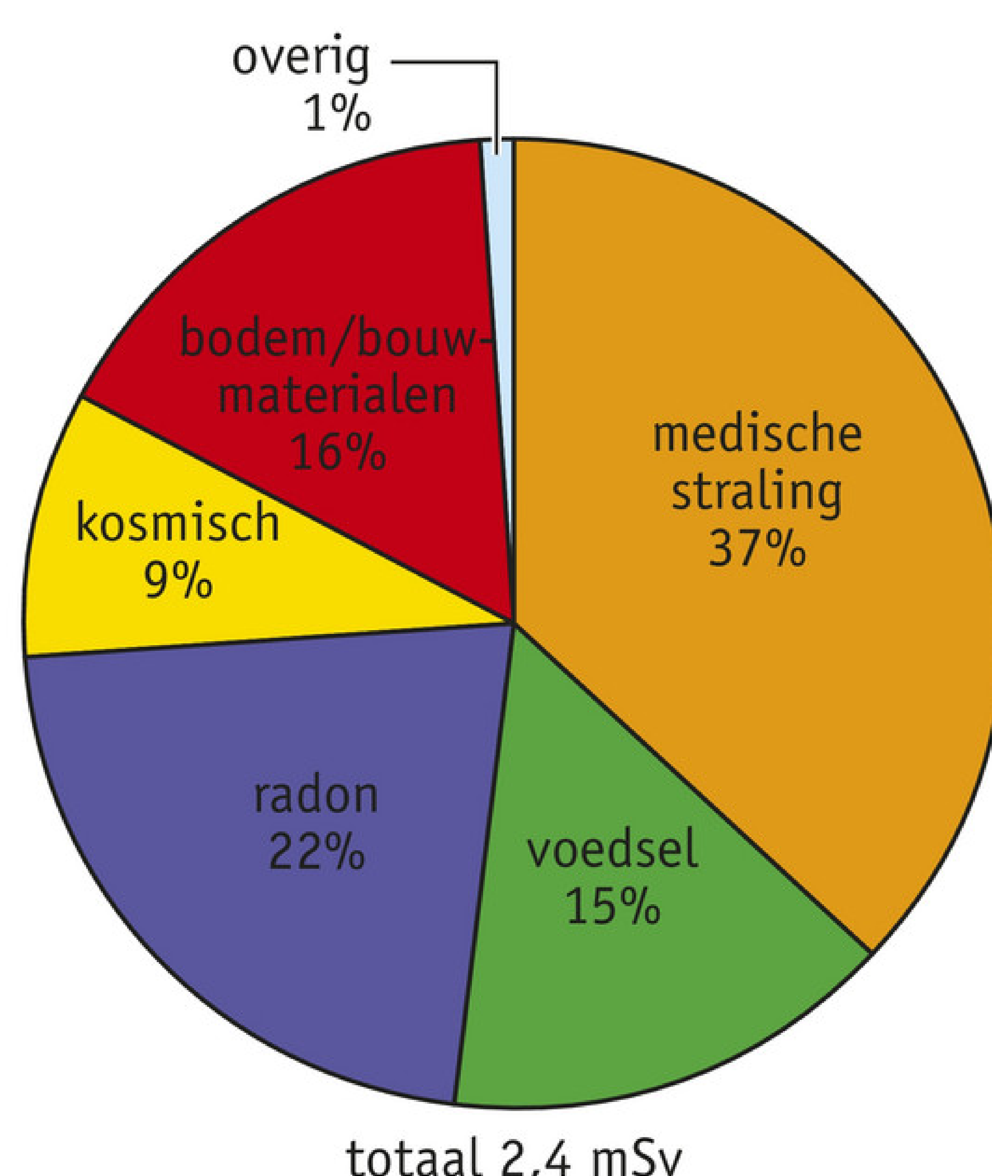
Al gauw bleek dat de herhaalde blootstelling aan röntgenstraling gezondheidsproblemen opleverde. Het eerste teken daarvan was een hardnekkige rode huidslag. Na verloop van tijd ontwikkelden veel artsen kankergezwellen (tumoren) op de bestraalde plaatsen. Meestal werden hun handen als eerste aangetast, omdat die de grootste hoeveelheid straling hadden opgelopen.

De problemen waren zo groot doordat het detectiemateriaal niet erg gevoelig was. Daarom werden er grote hoeveelheden straling gebruikt. Later zijn er betere technieken ontwikkeld. Daardoor is er tegenwoordig veel minder straling nodig om een röntgenfoto te maken. Maar ook kleine hoeveelheden röntgenstraling hebben een effect op het lichaam.

STRALING ABSORBEREN

Bij het nemen van een röntgenfoto gaat een deel van de straling dwars door het lichaam heen. Deze straling richt geen schade aan, omdat ze onderweg geen energie aan het lichaam afgeeft. Dit deel van de straling verandert niet tijdens de weg door het lichaam. De schade wordt veroorzaakt door de straling die in het lichaam wordt geabsorbeerd en daarbij haar energie afgeeft. Het is deze afgifte van energie die belangrijke moleculen zoals DNA kapot kan maken. Dit leidt tot een hogere kans om ooit een keer kanker te krijgen.

Als je wilt weten hoeveel kans op schade er is, kijk je naar de hoeveelheid stralingsenergie die het lichaam heeft geabsorbeerd. Het lichaam absorbeert van iedere soort ioniserende straling een andere hoeveelheid stralingsenergie. Bij het maken van een röntgenfoto van je borstkas absorbeert het lichaam bijvoorbeeld evenveel stralingsenergie als bij een vliegreis van Schiphol naar New York en terug. Die straling komt van kosmische straling hoog in de atmosfeer. Beide activiteiten leveren hetzelfde, kleine gezondheidsrisico op. De soorten straling waaraan een Nederlander wordt blootgesteld zijn dus heel divers (figuur 5).

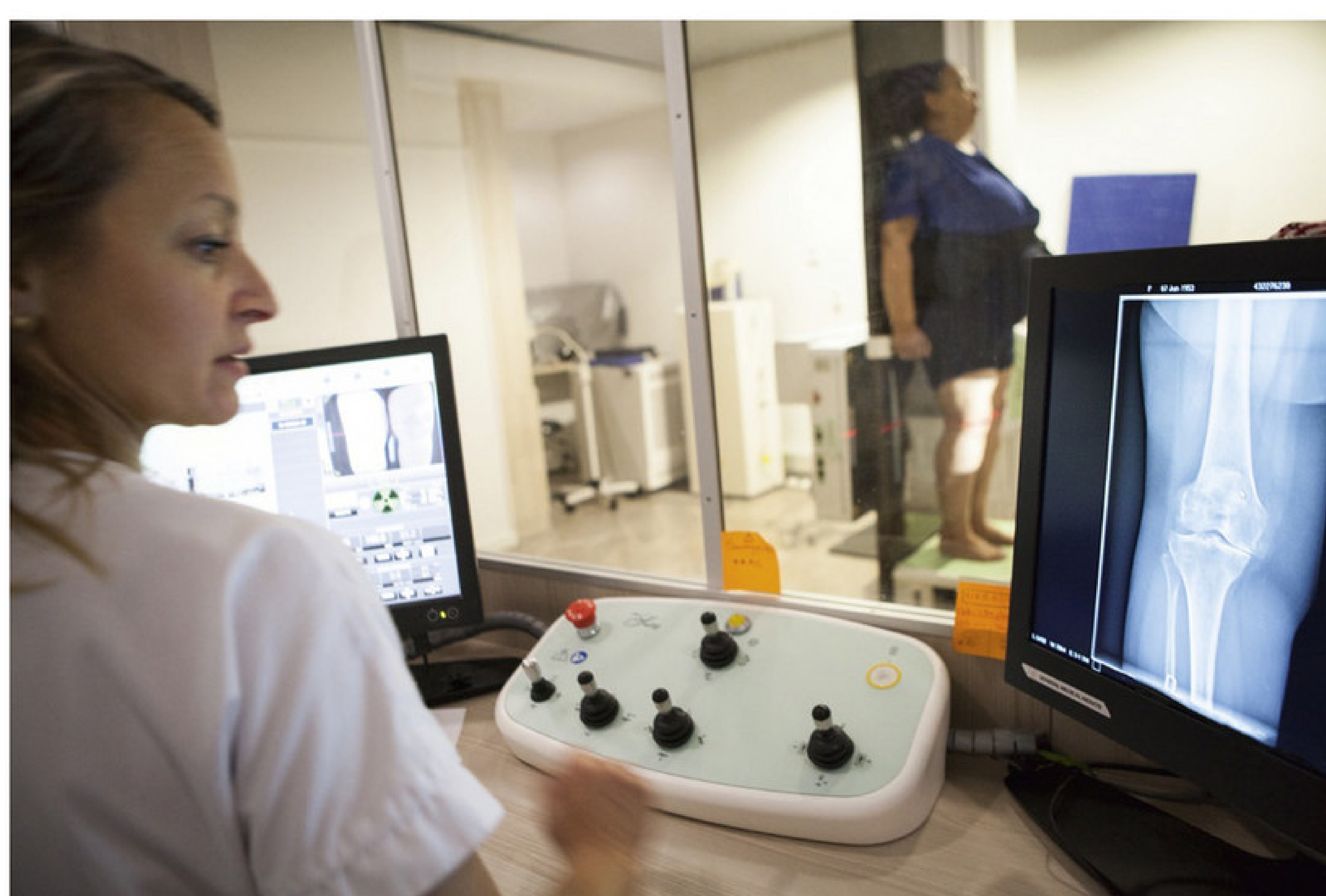


figuur 5 De verschillende stralingsbronnen waaraan de gemiddelde Nederlander per jaar wordt blootgesteld (bron: RIVM).

BESCHERMING TEGEN BESTRALING

Elke keer dat iemand blootstaat aan röntgenstraling ontstaat er schade in het lichaam. Het risico dat dit ooit problemen gaat opleveren, wordt telkens iets groter. Mensen die dagelijks met röntgenstraling werken, moeten daartegen worden beschermd. Als ze regelmatig worden blootgesteld aan een kleine hoeveelheid straling tijdens hun werk, kan dat op den duur onaanvaardbare risico's opleveren. Het is dus belangrijk mensen zo kort mogelijk bloot te stellen aan röntgenstraling.

Er gelden daarom strenge veiligheidsregels voor het werken met röntgenstraling. Het uitgangspunt is altijd dat een werknemer zelf niet bestraald mag worden. Daarom moet je bij het nemen van een röntgenfoto flink afstand houden. Straling verspreidt zich vanaf de bron en wordt daardoor steeds zwakker. Röntgenapparaten worden daarom altijd op afstand bediend.

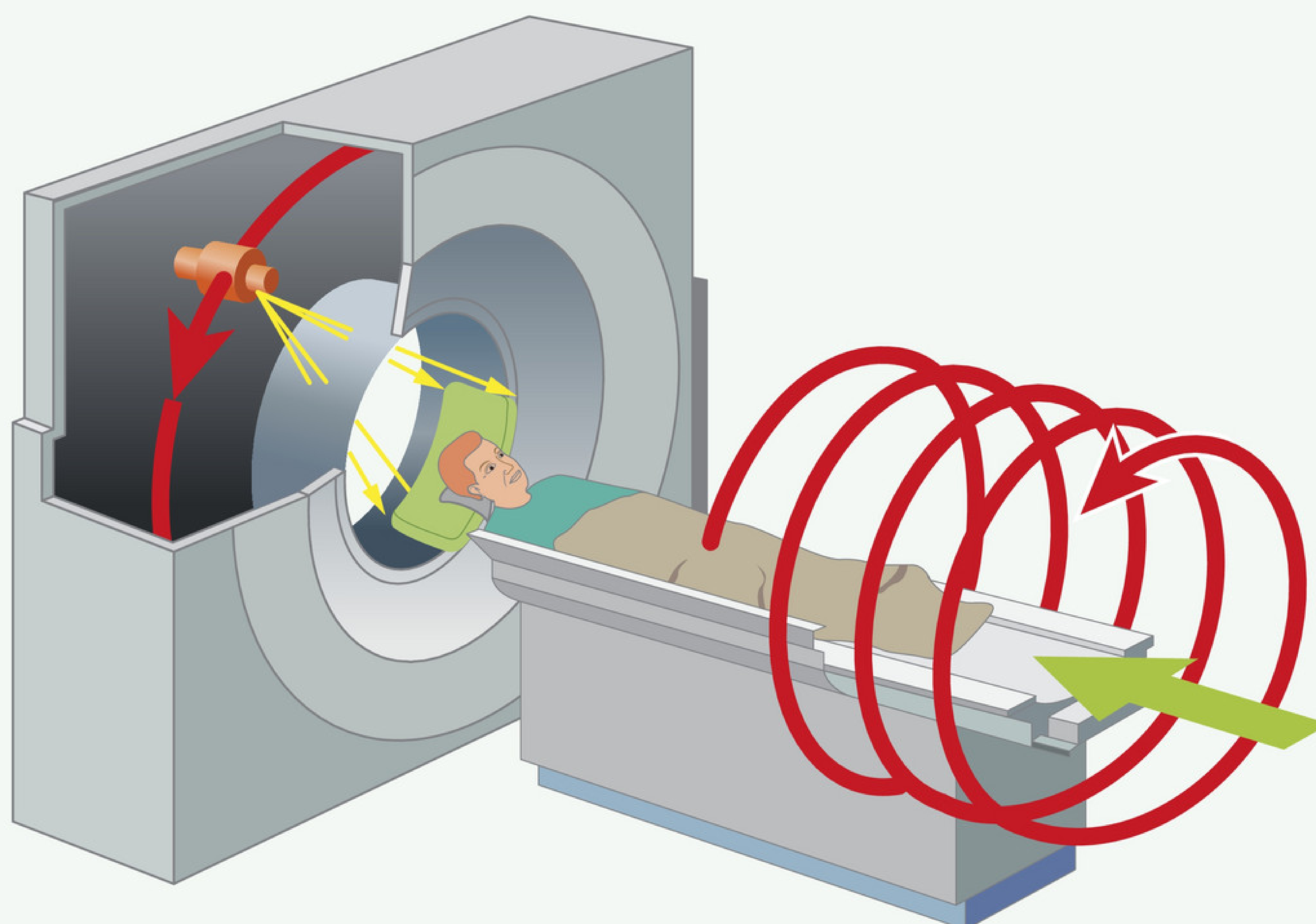


figuur 6 Het maken van een röntgenfoto in het ziekenhuis.

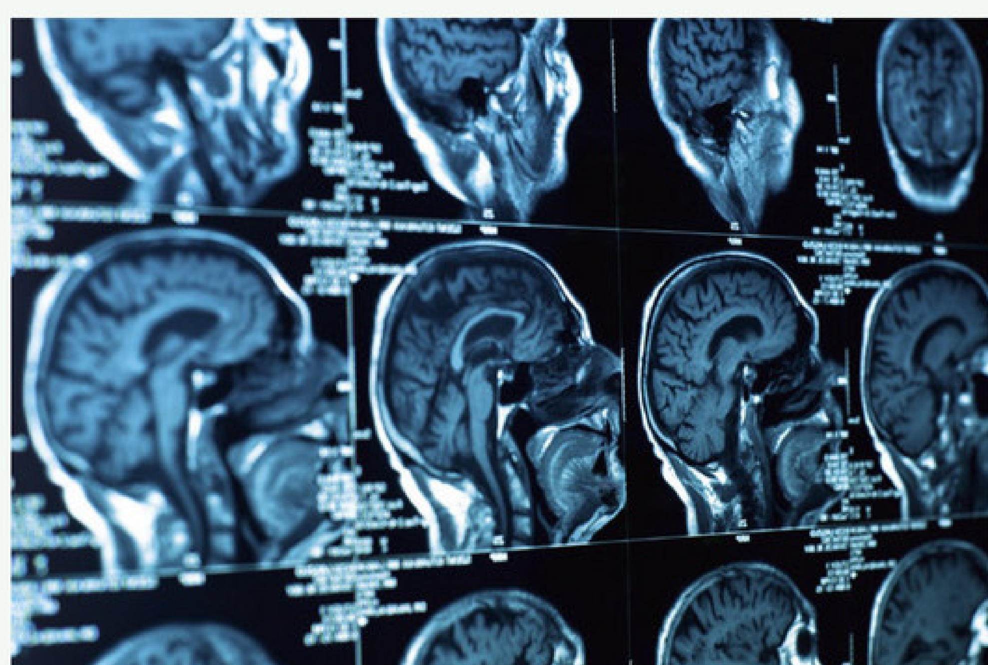
Voor een laborant die röntgenfoto's in het ziekenhuis neemt, is het niet genoeg om afstand te houden. Daarom gaat zo iemand bij het nemen van de foto achter een muur staan waarin lood is verwerkt. Ook het glas waar de laborant doorheen kijkt, bevat lood (figuur 6). Stoffen met een grote dichtheid zijn het meest effectief in het absorberen van straling. Omdat lood (ρ = 11,3 g/cm^3) relatief goedkoop is, is dit het meest gebruikte afschermingsmateriaal.

PLUS HALVERINGSDIKTE

Gamma- en röntgenstraling worden nooit helemaal door een voorwerp geabsorbeerd. Er komt altijd wel een beetje straling doorheen. Hiervan wordt gebruikgemaakt bij een CT-scan. Een patiënt ligt horizontaal en een röntgenbuis en detector draaien rond zijn lichaam (figuur 7). Hierbij worden tientallen röntgenfoto's genomen (figuur 8). Met behulp van de verkregen informatie uit de detector kan een computer een driedimensionaal beeld van een lichaamsdeel weergeven.

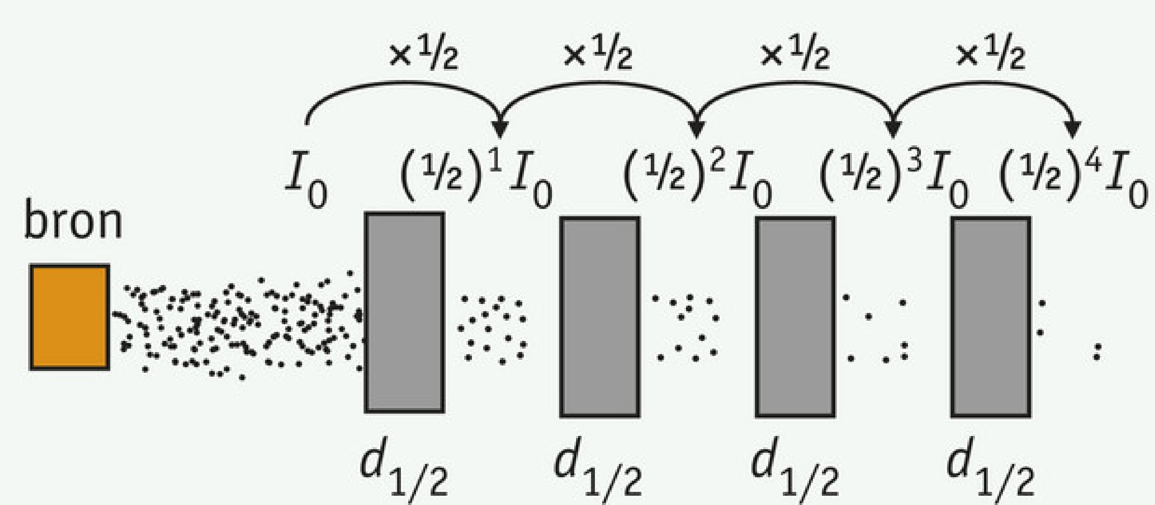


figuur 7 In een CT-scan draaien een röntgenbuis en een detector om de patiënt.



figuur 8 Tijdens een CT-scan worden heel veel opnames van een lichaamsdeel gemaakt.

De donkere en lichtere gebieden in de afbeelding van het hoofd in figuur 8 ontstaan doordat elk weefsel een bepaalde hoeveelheid straling absorbeert. De intensiteit is de stralingsenergie die per seconde per vierkante meter op een voorwerp valt. Die intensiteit neemt dus af als de straling door weefsel gaat. Een maat voor deze afname is de halveringsdikte van het weefsel. Als je een voorwerp even dik maakt als de halveringsdikte, wordt de **intensiteit** I van de straling gehalveerd (figuur 9). Als een voorwerp twee halveringsdikten dik is, daalt de intensiteit van de doorgelaten straling naar ½ × ½ = ¼ van de oorspronkelijke intensiteit. Er is dan 25% van de stralingsintensiteit over, wat betekent dat 75% door het materiaal is geabsorbeerd. Elk materiaal heeft een eigen halveringsdikte. In tabel 1 zie je de halveringsdikten van een aantal stoffen als er een typische soort röntgenstraling op valt.



figuur 9 Met elke halveringsdikte wordt de intensiteit van de straling gehalveerd.

tabel 1 De halveringsdikte van röntgenstraling in verschillende materialen.

materiaal	halveringsdikte voor röntgenstraling (cm)
lucht	$2{,}8 \cdot 10^3$
spierweefsel	3,1
bot	1,1
lood	0,0079

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Je lichaam is doorzichtig voor sommige soorten straling en ondoorzichtig voor andere.
Welk soort(en) elektromagnetische straling:

a beweegt/bewegen ongehinderd door de atmosfeer?
- ☐ A radiogolven
- ☐ B ir-straling
- ☐ C zichtbaar licht
- ☐ D uv-straling
- ☐ E röntgenstraling

b gaat/gaan wel door je spieren, maar niet door je botten?
- ☐ A radiogolven
- ☐ B ir-straling
- ☐ C zichtbaar licht
- ☐ D uv-straling
- ☐ E röntgenstraling

c wordt/worden door je lichaam volledig tegengehouden?
- ☐ A radiogolven
- ☐ B ir-straling
- ☐ C zichtbaar licht
- ☐ D uv-straling
- ☐ E röntgenstraling

2 In figuur 10 zie je een röntgenfoto van de hals van een man.

a Leg uit waardoor het komt dat de veiligheidsspeld in zijn keel zo goed zichtbaar is.

b Zet de volgende objecten die je ziet in figuur 10 op volgorde van weinig naar veel absorberen van röntgenstraling: *beenderen – kleding – lucht – veiligheidsspeld – spierweefsel*.

....



figuur 10 Een röntgenfoto van de hals met een voorwerp dat er niet thuishoort.

3 Mensen die veel met röntgenstraling werken, moeten zich hiertegen goed beschermen.

a Leg uit waarom afstand houden tot de stralingsbron een goede maatregel is.

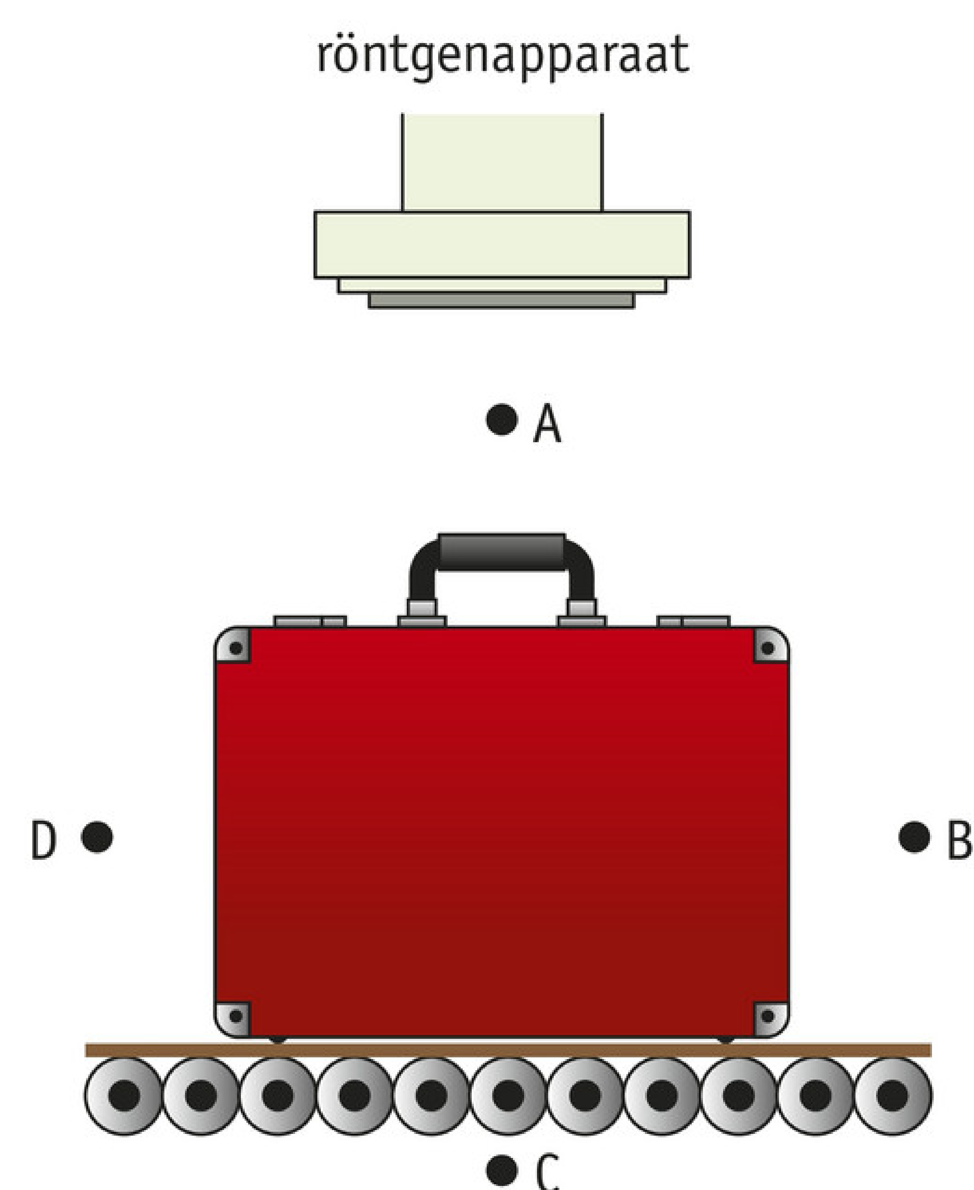
b Geef twee redenen waarom lood wordt gebruikt als afschermingsmateriaal tegen röntgenstraling.

TOEPASSING

4 Op vliegvelden wordt bagage vaak met röntgenstraling gecontroleerd. In figuur 11 zie je een schets van zo'n controle, met het röntgenapparaat en een koffer op de lopende band.

a Leg uit waar de röntgencamera zich bevindt: op plaats A, B, C of D?

b Waarom hoef je bij deze controle niet zo te letten op de sterkte en duur van de bestraling als bij een röntgenfoto in het ziekenhuis?



figuur 11 Een bagagecontrole op het vliegveld.

5 De botten in je lichaam zijn ingewikkelde organen, met een eigen structuur. Tip: google voor deze opdracht eerst enkele afbeeldingen met: *X-ray leg*.

a Hoe zouden de botten eruitzien op een röntgenfoto als ze helemaal massief zouden zijn?

b In werkelijkheid zijn botten niet massief, maar hol. Binnenin zit een zacht weefsel, het beenmerg.
Leg uit hoe je dat op een röntgenfoto kunt zien.

6 Tandartsen maken vaak röntgenfoto's van tanden en kiezen (figuur 12).

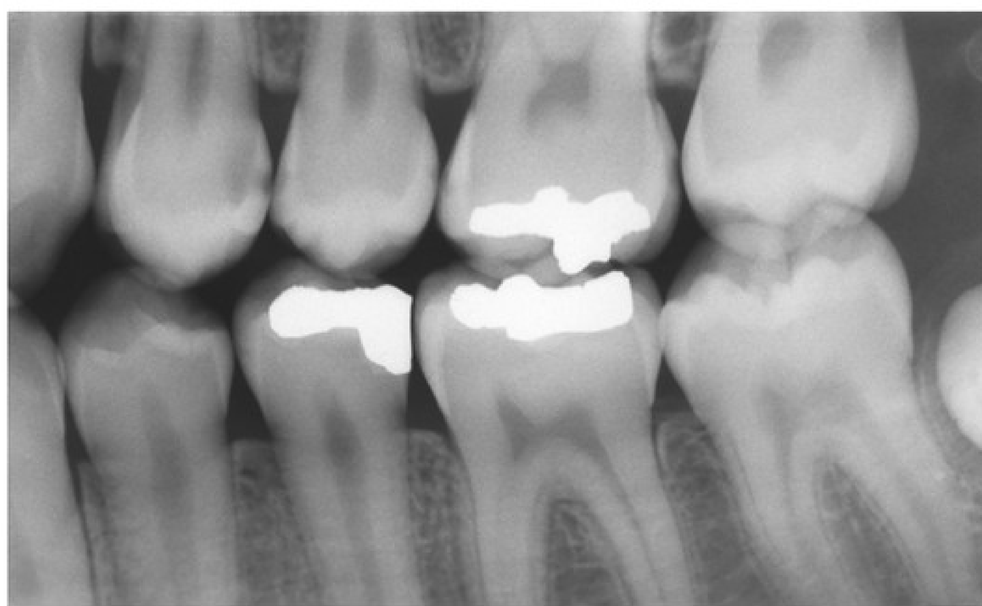
a Leg uit waarom röntgenfoto's nuttige hulpmiddelen zijn voor tandartsen.

b Laten vullingen veel of weinig straling door?

c Welk deel van het gebit laat de meeste straling door?

d Bij het maken van een röntgenfoto gaat de tandarts eerst de behandelkamer uit en maakt dan de foto.
Waarom doet ze dat?

e De tandarts stelt voor om eens in de vijf jaar een 'panoramafoto' te maken van je hele gebit.
Noem daarvan een voordeel en twee nadelen.



figuur 12 Een röntgenfoto van een deel van een gebit.

7 In een medische encyclopedie staat een kort artikel over de röntgencontrastfoto. Zie figuur 13.
Lees het artikel en beantwoord de vragen.

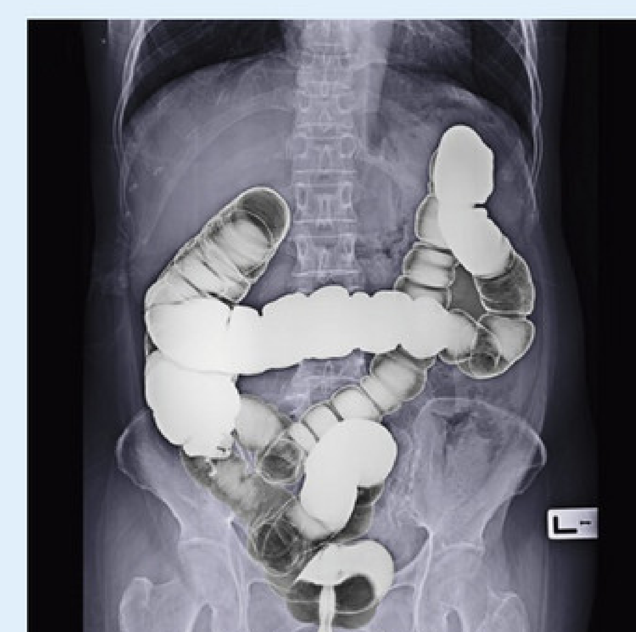
a Op een gewone röntgenfoto zijn de darmen niet te zien.
Leg uit hoe dat komt.

b De darmen zijn wel te zien nadat de patiënt bariumsulfaat heeft ingeslikt.
Leg uit hoe dat komt.

c Er is nog een orgaan dat je met behulp van bariumsulfaat zichtbaar kunt maken.
Bedenk zelf welk orgaan dat is.

Röntgencontrast

De darmwand kun je niet zichtbaar maken met röntgenstraling. Om afwijkingen zichtbaar te maken, moet er een laagje barium opgelegd worden, dat geen röntgenstralen doorlaat. Bariumsulfaat vermengd met water wordt als klysma gegeven of ingeslikt. Barium via een klysma is in 25 minuten ter plaatse, ingeslikt barium doet er vijf uur over.



figuur 13 Informatie over een röntgencontrastfoto van de darm.

★ 8

Vliegtuigbemanningen worden tijdens het vliegen op grote hoogte blootgesteld aan kosmische straling (ioniserende straling vanuit de ruimte). Hun lichaam mag volgens EU-regels per jaar meer stralingsenergie absorberen dan dat van gewone burgers.

a Leg uit waarom het volgens de regels acceptabel is dat vliegtuigbemanningen een extra dosis krijgen.

b Het lichaam van een zwanger bemanningslid mag minder extra stralingsenergie absorberen dan haar niet-zwangere collega's.
Leg uit waarom het maximum lager is voor een zwangere vrouw.

9

De afdeling Radiologie van een ziekenhuis beantwoordt veelgestelde vragen op haar website. In figuur 14 zie je een van de vragen en het antwoord van het ziekenhuis.

a In het antwoord wordt een schort genoemd dat de baby moet beschermen.
Welk materiaal is waarschijnlijk in dit schort verwerkt? Waarom?

b Soms is een gedeelte van het schort te zien op de röntgenfoto.
Leg uit welke 'kleur' het schort op de röntgenfoto heeft.

figuur 14 Een veelgestelde vraag over röntgenonderzoek.

Kan ik een röntgenonderzoek ondergaan als ik zwanger ben?

Als u zwanger bent of denkt dat u misschien zwanger bent, moet u dit meteen vertellen aan uw behandelend arts. Deze kan in overleg met u beslissen of het onderzoek door moet gaan, op een later tijdstip moet plaatsvinden, of kiezen voor een alternatief onderzoek.
Is uw onderzoek al afgesproken, meld dan uw zwangerschap bij de administratief medewerkster op de afdeling Radiologie, of bij de röntgenlaborant vóór het onderzoek plaatsvindt. Er zijn dan drie mogelijkheden:

- Het onderzoek wordt uitgesteld tot na de geboorte.
- De arts stelt een ander soort onderzoek aan u voor.
- U krijgt een speciaal schort aan om uw baby te beschermen tegen de straling.

★ 10

Als je in de buurt van een röntgenbron bent, ontvangt je lichaam stralingsenergie. De hoeveelheid stralingsenergie kun je verminderen door achter een muur te gaan staan waarin lood is verwerkt.

a Noem drie metalen die je beter tegen stralingsenergie zullen beschermen dan lood.
Gebruik hiervoor internet.

b De hoeveelheid stralingsenergie die je lichaam ontvangt, kun je ook verminderen door de afstand tot de bron te vergroten. Bij iedere verdubbeling van de afstand wordt de stralingsenergie 4× zo klein. Je staat op een afstand van 1 m van een bron. De stralingsenergie is op deze afstand 64× hoger dan het veilige niveau.
Bereken op welke afstand je van de bron moet gaan staan, zodat de stralingsenergie tot een veilig niveau is gedaald.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS HALVERINGSDIKTE

11

a De halveringsdikte van bot is voor röntgenstraling 1,1 cm. Leg uit wat hiermee wordt bedoeld.

b Geef een voordeel en een nadeel van een CT-scan ten opzichte van een gewone röntgenfoto.

c Leg uit of de metalen plaat die je ziet in de arm van figuur 3 een grote, of juist een kleine halveringsdikte heeft vergeleken met het bot.

12

In tabel 1 vind je de halveringsdikte van bot. Bij een CT-onderzoek aan een fossiel valt röntgenstraling op een massief bot met een dikte van 3,3 cm.

a Bereken hoeveel procent van de hoeveelheid opvallende straling door het bot wordt doorgelaten.

b Hoe dik moet het bot zijn om de intensiteit met 75% te laten afnemen?

13

Als je op een röntgenfoto in een grijs gedeelte een witte plek ziet, kan dat komen doordat het een andere stof is met een andere halveringsdikte. Er is ook een andere verklaring mogelijk.
Leg uit wat die andere verklaring is.

4 Werken met gammastraling

LEERDOELEN

6.4.1 Je kunt beschrijven wat radioactiviteit is.
6.4.2 Je kunt de activiteit in de loop van de tijd berekenen.
6.4.3 Je kunt de halveringstijd bepalen uit een vervalkromme.
6.4.4 Je kunt drie soorten straling beschrijven die radioactieve stoffen kunnen uitzenden.
6.4.5 Je kunt van verschillende soorten straling het doordringend vermogen beschrijven.
6.4.6 Je kunt onderzoek met gammastraling beschrijven.
6.4.7 Je kunt het verschil tussen besmetting en bestraling uitleggen.
PLUS 6.4.8 Je kunt de vervalvergelijking opstellen van een instabiele kern die alfa- of bètastraling uitzendt.

Radioactieve stoffen zenden straling uit. Deze straling wordt in ziekenhuizen gebruikt om ziekten op te sporen en te behandelen. Daarbij moet goed op de veiligheid worden gelet, want de straling kan gezonde mensen ook ziek maken.

RADIOACTIVITEIT

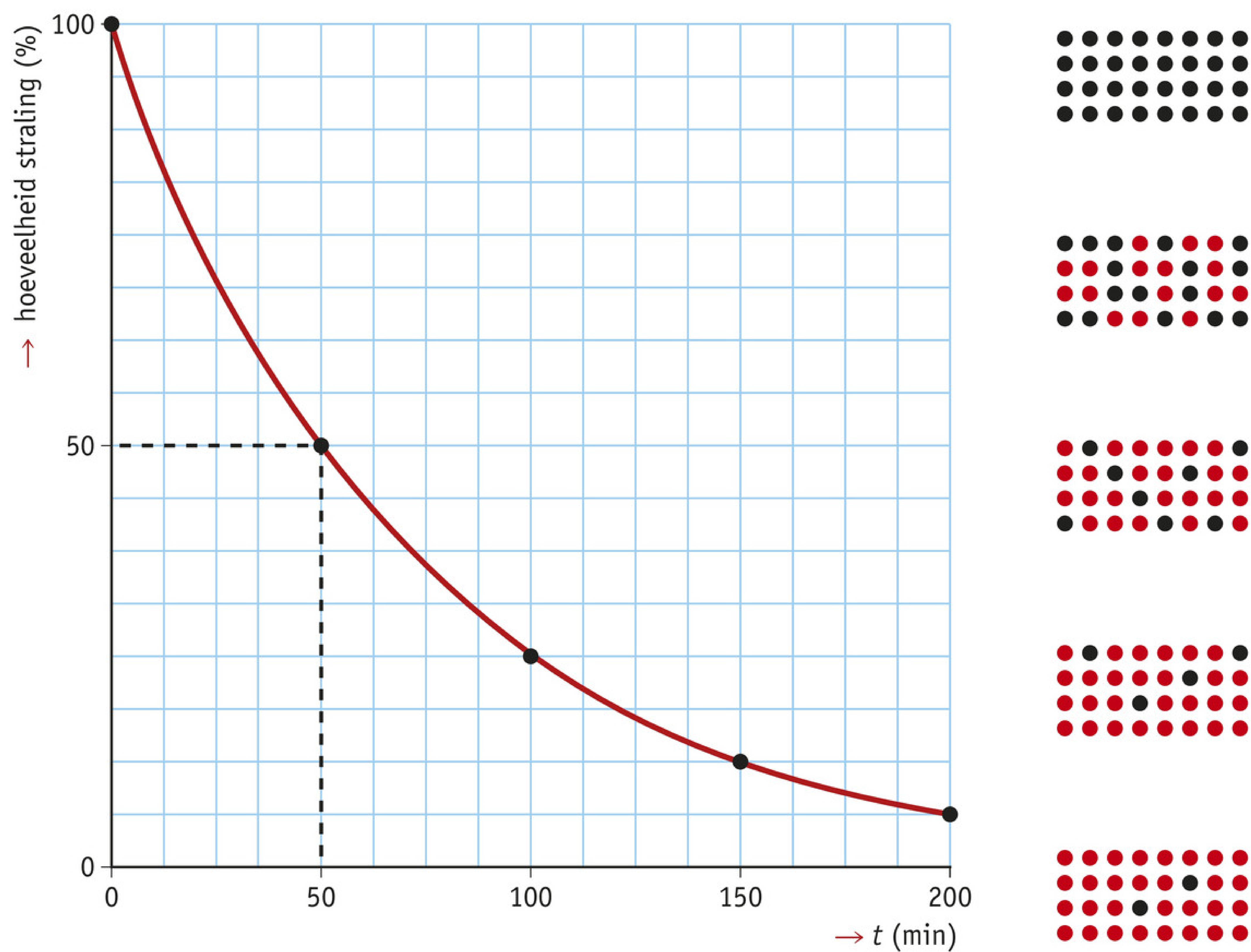
In 1896 ontdekte de Franse natuurkundige Henri Becquerel (1852–1908) dat sommige stoffen spontaan (uit zichzelf) sterk ioniserende straling uitzenden. Zulke stoffen noem je **radioactief**. ‘Radioactief’ betekent: zendt straling uit.

In heel kleine hoeveelheden vind je radioactieve stoffen overal: in de bodem, in het water, in de lucht, in de muren van gebouwen en zelfs in je eigen lichaam (figuur 1). Veel van deze stoffen zijn van natuurlijke oorsprong. Ze zijn **natuurlijk radioactief**. Natuurkundigen hebben na 1896 geleerd om zelf nieuwe radioactieve stoffen te maken. Zulke stoffen noem je **kunstmatig radioactief**.



figuur 1 Paranoten staan erom bekend dat ze kleine hoeveelheden radium bevatten, een natuurlijk radioactieve stof.

Een radioactieve stof wordt bij dit proces geleidelijk omgezet in een andere stof. Na verloop van tijd is de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid stof verdwenen. De hoeveelheid straling is dan ook met de helft afgenomen. De tijd die hiervoor nodig is, wordt de **halveringstijd** of **halfwaardetijd** genoemd (figuur 2).

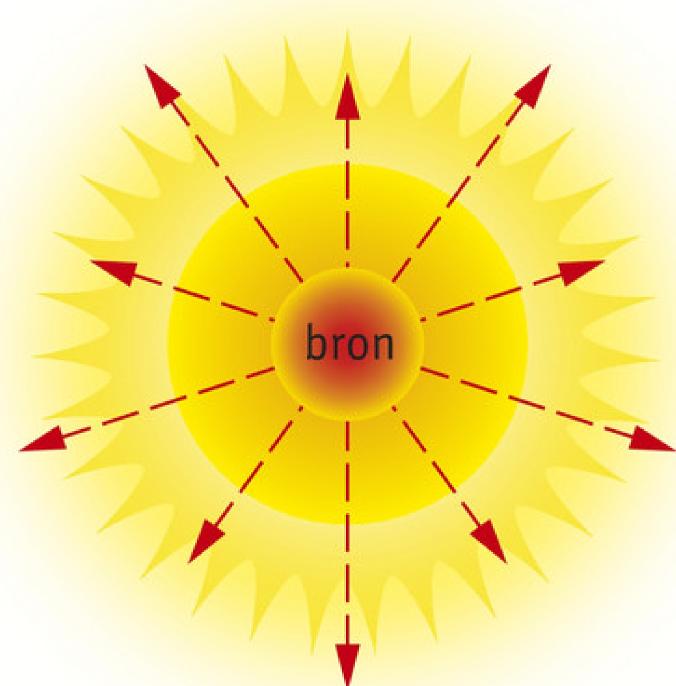


figuur 2 De hoeveelheid straling van een radioactieve bron met een halfwaardetijd van 50 minuten.

Radioactieve stoffen hebben heel verschillende halfwaardetijden. In de natuur komen stoffen voor met halfwaardetijden van miljarden jaren. In ziekenhuizen worden kunstmatig radioactieve stoffen gebruikt met halfwaardetijden van uren tot weken. Deze stoffen verdwijnen snel nadat een onderzoek of een behandeling is afgesloten en vormen daardoor op den duur geen risico meer.

DRIE SOORTEN STRALING

Een radioactieve stof kan zowel deeltjes als elektromagnetische golven uitzenden. De deeltjes en de golven bewegen in alle richtingen bij de radioactieve stof vandaan (figuur 3). Daarom worden de deeltjes en de golven allebei straling genoemd, al zijn het natuurkundig gezien heel verschillende verschijnselen. Zowel de deeltjes als de golven zijn sterk ioniserend.



figuur 3 Dit plaatje kun je voor elk soort straling tekenen.

Deeltjesstraling bestaat uit een stroom deeltjes die zich met grote snelheid voortbewegen, als kogels uit een geweer. Het zijn die snelheid en de massa die de deeltjes hun ioniserende werking geven. Als ze tegen een molecuul botsen, kan dat gemakkelijk worden beschadigd. Natuurkundigen onderscheiden twee soorten deeltjesstraling: **alfastraling** (α-straling) en **bètastraling** (β-straling). Alfadeeltjes zijn veel groter en zwaarder dan bètadeeltjes.

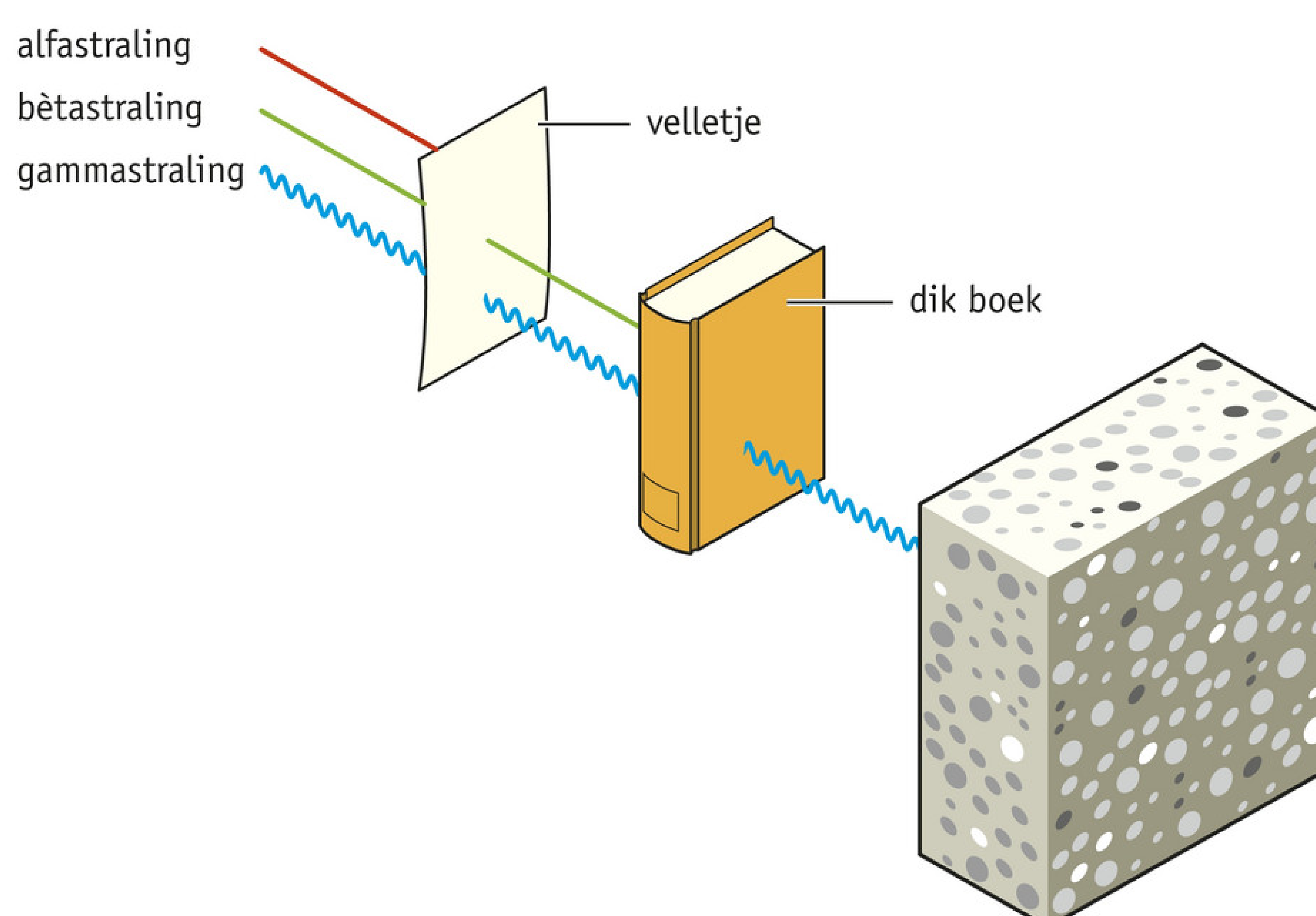
Sommige radioactieve stoffen zenden alfastraling uit, andere bètastraling. Meestal wordt er tegelijk met de deeltjesstraling ook elektromagnetische straling uitgezonden met een heel korte golflengte. Deze straling wordt **gammastraling** (γ-straling) genoemd. Gammastraling lijkt veel op röntgenstraling, ook wat de gezondheidseffecten betreft, maar is nog sterker ioniserend.

DOORDRINGEND VERMOGEN

Alfa- en bètadeeltjes kunnen tot een bepaalde afstand doordringen in een stof. Dan zijn ze door botsingen met de moleculen in de stof al hun bewegingsenergie kwijtgeraakt. De maximale afstand die ze kunnen afleggen, wordt de **dracht** genoemd. De dracht is voor elk soort straling anders en verschilt ook van stof tot stof.

Alfastraling heeft een heel kleine dracht. Een vel papier of een paar centimeter lucht houdt een stroom alfadeeltjes al tegen. De deeltjes kunnen ook niet de buitenste laag van je huid passeren. Bètastraling komt verder dan alfastraling. Maar een 4 mm dik plaatje aluminium kan de stroom bètadeeltjes stoppen; ook door een dik boek komen ze niet heen (figuur 4).

Gammastraling heeft een veel groter **doordringend vermogen** dan alfa- en bètastraling. Deze straling gaat dwars door stoffen heen, daarom kun je niet zeggen dat gammastraling een dracht heeft. De straling wordt wel steeds zwakker als ze verder in een stof doordringt, maar wordt nooit helemaal nul. Een centimeters dikke laag lood, of een nog dikkere laag beton is nodig om gammastraling afdoende te verzwakken.



figuur 4 Het doordringend vermogen van alfa-, bèta- en gammastraling.

ONDERZOEK MET GAMMASTRALING

Gammastraling wordt in het ziekenhuis gebruikt om **scans** van organen te maken. Zo'n scan laat zien hoe een radioactieve stof zich in een orgaan verspreidt. Omdat gammastraling een groot doordringend vermogen heeft, kan ze gemakkelijk door het lichaam heen, zodat ze daarna kan worden gedetecteerd. Met alfa- en bètastraling is dat onmogelijk.

In figuur 5 zie je hoe een onderzoek met gammastraling verloopt.

1 In een laboratorium wordt een **tracer** (een radioactieve merkstof) gemaakt. Door de kunstmatige radioactiviteit van de moleculen van de tracer zijn ze zichtbaar voor detectoren van gammastraling.
2 De tracer wordt daarna in het lichaam van de patiënt gebracht. Meestal gebeurt dat door middel van een injectie. De tracer verspreidt zich door het lichaam en komt zo in de organen terecht die onderzocht worden.
3 De gammastraling die de tracer uitzendt, wordt geregistreerd door een **gammacamera**. Dat is een schijf met detectoren die in een boog om de patiënt heen beweegt. De detectoren 'zien' alleen de gammastraling die loodrecht op het detectoroppervlak valt.
4 Een computer gebruikt de meetgegevens van de detectoren om een beeld te construeren van het orgaan. Dit is een *false color image* waarin de intensiteit van de straling wordt aangegeven met verschillende kleuren. Meestal staat rood voor het hoogste stralingsniveau en blauw voor het laagste.

figuur 5 Het maken van een scan.



a In het laboratorium wordt een tracer gemaakt.

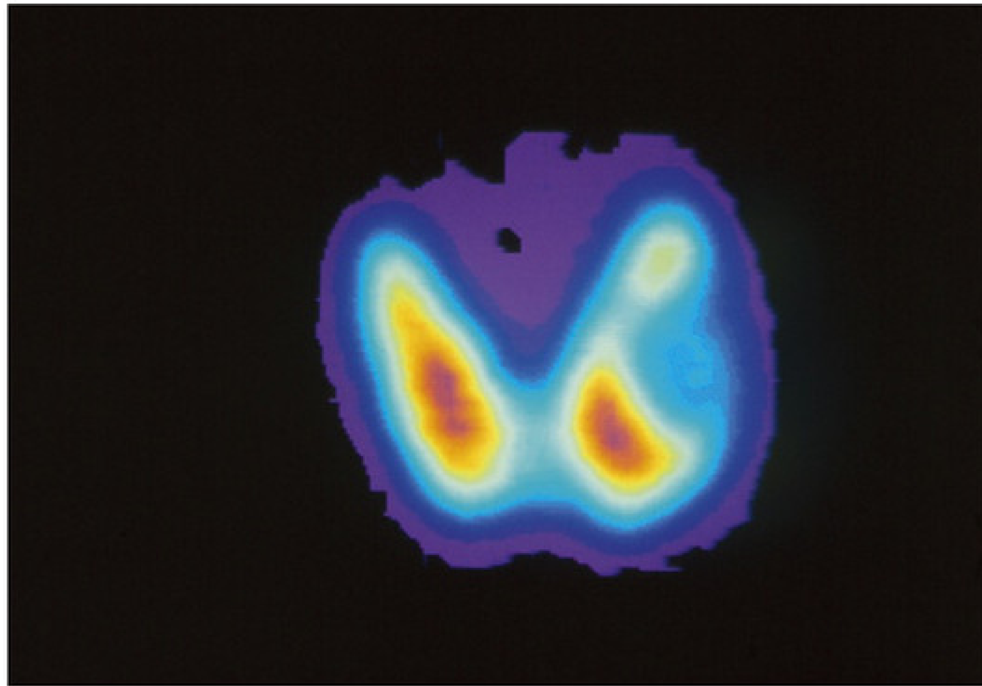


b De tracer wordt in het lichaam van de patiënt geïnjecteerd.



c De gammacamera registreert de vrijkomende straling.

In figuur 6 zie je het resultaat van een schildklieronderzoek. Als tracer is een stof gebruikt die door de schildklier uit het bloed wordt opgenomen. Het computerbeeld laat zien waar de tracer is terechtgekomen. Het is duidelijk dat een deel van de schildklier minder goed werkt: de rechterhelft heeft minder tracer opgenomen dan de linkerhelft.



figuur 6 Intensiteit van de straling van een tracer die door een schildklier is opgenomen.

BESTRALING EN BESMETTING

Röntgenstraling wordt geproduceerd door een apparaat dat alleen straling uitzendt als iemand op een knop drukt. Maar alfa-, bèta- en gammastraling worden altijd uitgezonden, ook als je de radioactieve bron niet gebruikt. Daardoor loop je altijd het risico dat je lichaam wordt bestraald als je in de buurt van een radioactieve bron komt.

Door het grote doordringende vermogen is gammastraling verreweg het gevaarlijkst. Radioactieve bronnen die gammastraling produceren moet je daarom goed afschermen. Net als bij röntgenstraling wordt daarvoor vaak lood gebruikt, omdat dit materiaal gammastraling sterk absorbeert (figuur 7).



figuur 7 Een container voor het vervoer van radioactieve stoffen: de binnen- en de buitenwand zijn van staal, met daartussen een dikke laag lood.

Van **bestraling van buitenaf** wordt je lichaam niet radioactief, al zal er in het lichaam wel schade ontstaan. Maar radioactieve stoffen kunnen ook *in* je lichaam terechtkomen: met de lucht die je inademt, het water dat je drinkt en het voedsel dat je eet. Ook kunnen ze op je huid terechtkomen. Dit wordt **radioactieve besmetting** genoemd. Als gevolg van die besmetting loopt je lichaam niet alleen stralingsschade op, maar wordt het ook zelf een radioactieve bron.

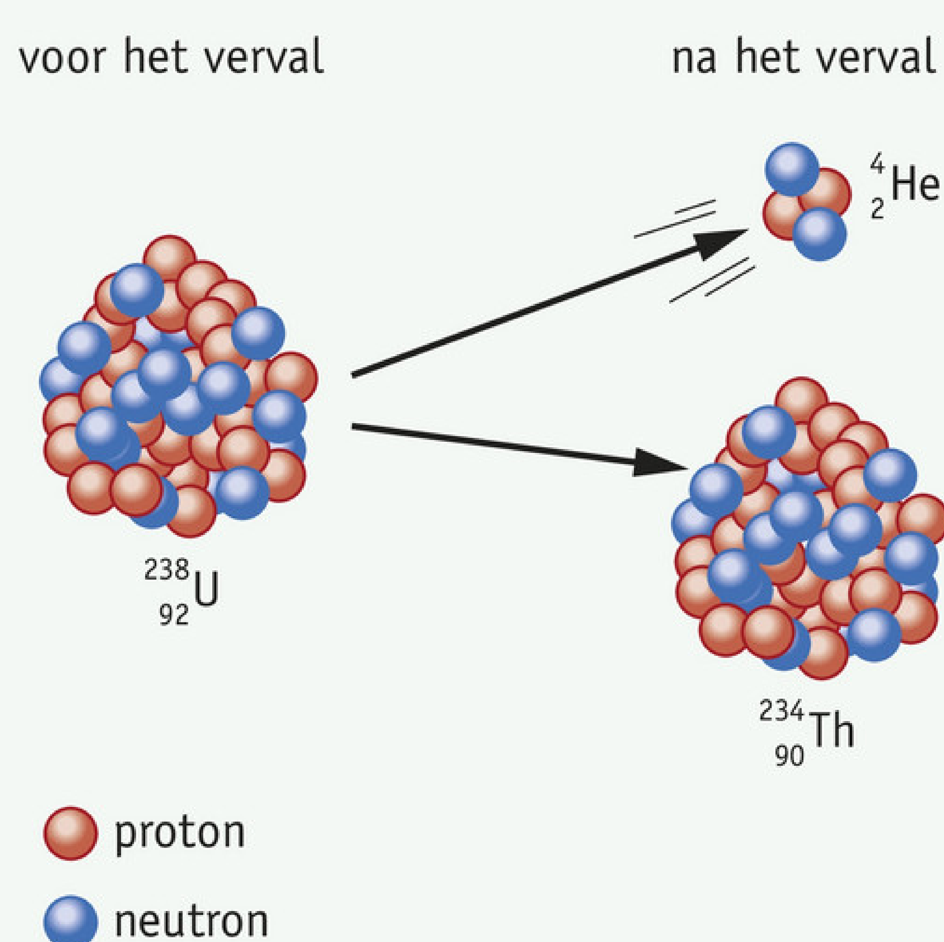
Veel veiligheidsregels rond radioactiviteit hebben als doel besmetting te voorkomen (figuur 8). Je mag bijvoorbeeld niet eten of drinken in de buurt van radioactieve bronnen en je moet altijd je handen wassen nadat je met radioactieve bronnen hebt gewerkt. Als er toch besmetting plaatsvindt, moet je de besmette kleding uittrekken en gaan douchen. Zo kun je de radioactieve stof van je huid en uit je haren spoelen.



figuur 8 Je moet een beschermend pak dragen bij het nemen van een monster van mogelijk radioactief besmet water.

PLUS VERVALVERGELIJKINGEN

Sommige kernen zijn instabiel. Dat betekent dat zo'n kern spontaan vervalt. In figuur 9 zie je wat er gebeurt als een instabiele kern alfastraling uitzendt: er schiet een **alfadeeltje** uit de kern. Zo'n deeltje heeft dezelfde samenstelling als een heliumkern: twee neutronen en twee protonen. Deze kern bevat dus 2 + 2 = 4 kerndeeltjes. De twee neutronen zijn elektrisch neutraal, de twee protonen hebben een positieve lading. Je noteert dit deeltje als $^{4}_{2}He$. Het getal linksboven in deze notatie heet het massagetal, het getal linksonder het ladingsgetal.



figuur 9 Een kern van uranium-238 zendt een alfadeeltje uit.

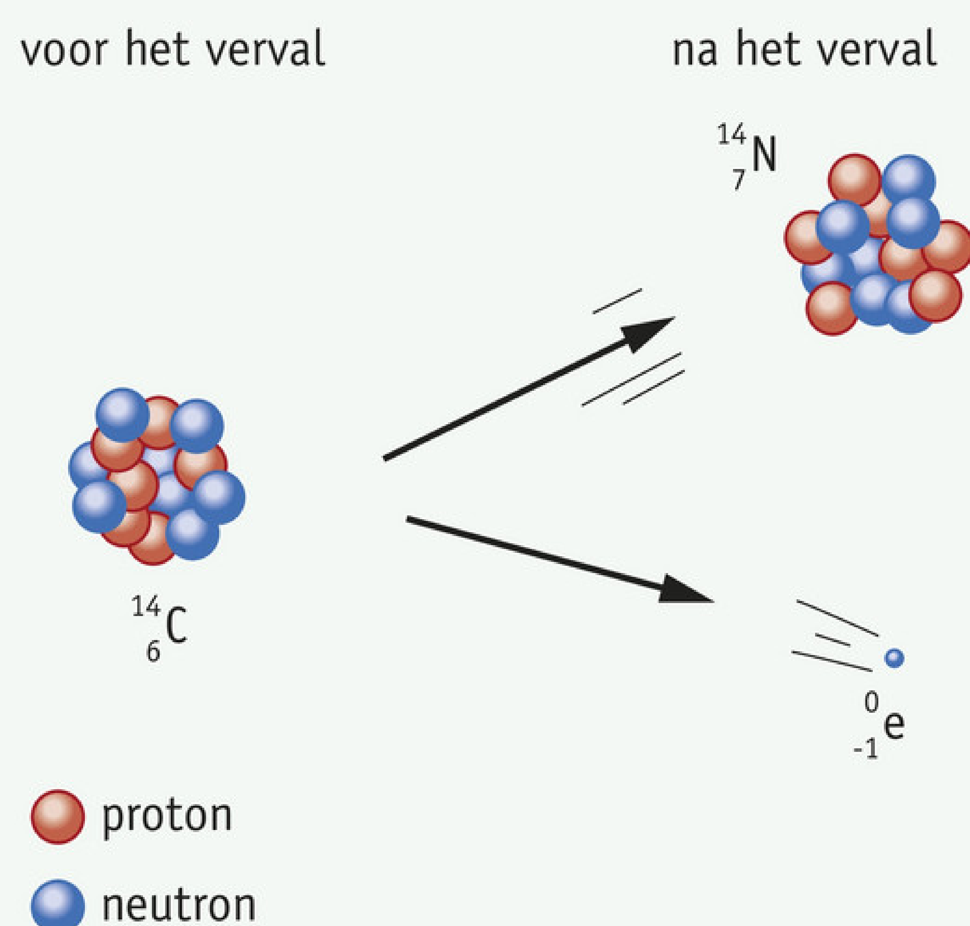
De uraniumkern in figuur 9 heeft 92 protonen en 146 neutronen, dus 92 + 146 = 238 kerndeeltjes. Deze kern noteer je dus als $^{238}_{92}U$. Je kunt het verval in figuur 9 beschrijven met een vervalvergelijking. Bij een vervalvergelijking moeten het aantal deeltjes (massagetal) en het aantal ladingen (ladingsgetal) links en rechts van de pijl even groot zijn:



$$^{238}_{92}U \rightarrow \, ^{234}_{90}Th + \, ^{4}_{2}He$$

Zoals je ziet ontstaat er naast het alfadeeltje een nieuwe kern: thorium.
Bij bètaverval verandert een neutron in de atoomkern spontaan in een proton en een elektron. Het elektron vliegt daarna meteen uit de kern (figuur 10). Zo'n uitgestoten elektron noem je een **bètadeeltje**. Je schrijft het bètadeeltje als $^{0}_{-1}e$. Het massagetal van een bètadeeltje is 0 omdat de massa van een elektron heel klein is, en het ladingsgetal is −1, omdat een elektron een lading heeft die tegengesteld is aan die van een proton. De vervalvergelijking in figuur 10 noteer je als:





figuur 10 Een kern van koolstof-14 zendt een bètadeeltje uit.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wat wordt bedoeld met 'de halfwaardetijd van een radioactieve stof'?
- **b** Welke soorten deeltjesstraling worden door radioactieve stoffen uitgezonden?
- **c** Welk soort straling van een bron buiten je lichaam is het gevaarlijkst? Waarom?
- **d** Wat is het verschil tussen bestraling en (radioactieve) besmetting?

2 Bij medisch onderzoek worden radioactieve merkstoffen gebruikt om afbeeldingen van het lichaam te maken.
- **a** Een radioactieve merkstof wordt ook wel een .... genoemd.
- **b** De straling die zo'n merkstof uitzendt is ....
- **c** Waarom zijn andere soorten straling niet geschikt voor dit soort onderzoek?
- **d** Waarom worden voor dit onderzoek kunstmatig radioactieve stoffen gebruikt met een korte halveringstijd?

TOEPASSING

3 Radioactief jodium heeft een halfwaardetijd van 8 dagen.

a Bereken de ontbrekende gegevens in tabel 1 en vul ze in.

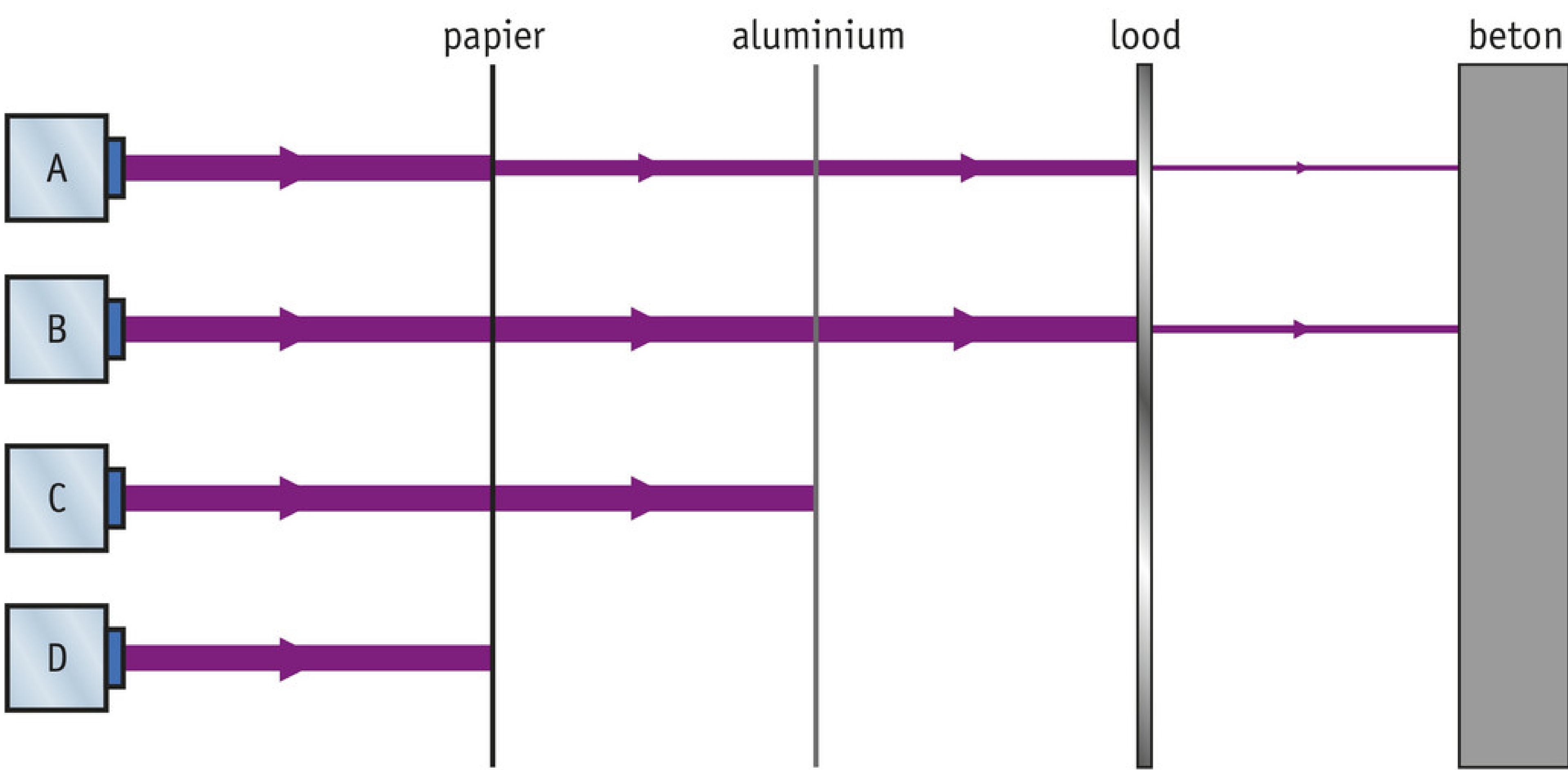
b Na hoeveel dagen is er minder dan 1,0% over van de oorspronkelijke hoeveelheid straling?

tabel 1 Zo neemt de straling af.

aantal dagen	hoeveelheid overgebleven straling
0	100%
8	50%
16	25%
24	
32	
40	
48	
56	

4 Esther plaatst vier radioactieve bronnen voor plaatjes van verschillend materiaal (figuur 11). De dikte van de pijlen is een maat voor de hoeveelheid straling. Geef van elke bron aan welke soort straling hij uitzendt.

A	bron A	◯	◯	1	zendt alleen alfastraling uit
B	bron B	◯	◯	2	zendt alleen bètastraling uit
C	bron C	◯	◯	3	zendt alleen gammastraling uit
D	bron D	◯	◯	4	zendt zowel alfastraling als gammastraling uit

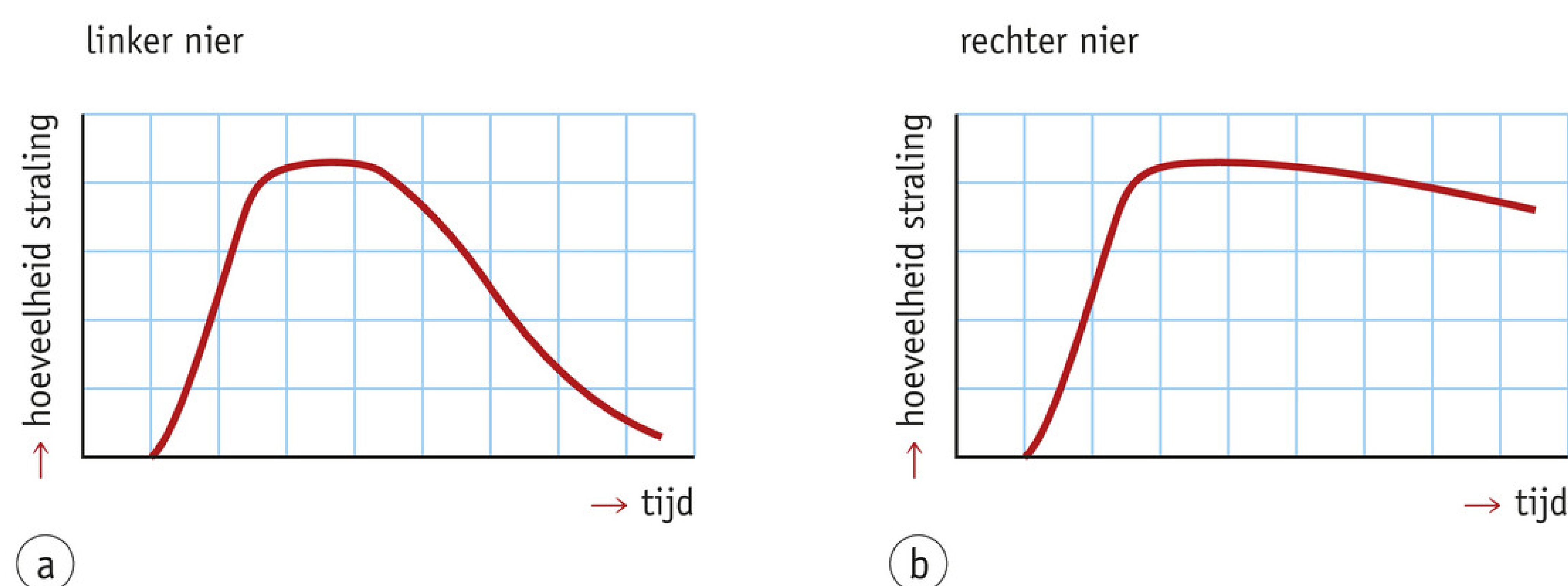


figuur 11 De proef van Esther met vier radioactieve bronnen.

5 De werking van de nieren kun je onderzoeken met een radioactieve tracer. De tracer wordt door middel van een injectie in de bloedbaan gebracht. Als de nieren goed werken, zullen ze de tracer snel uit het bloed halen en afvoeren naar de blaas.

a Twee detectoren meten de hoeveelheid straling die de nieren uitzenden. In figuur 12 zie je hoe de hoeveelheid straling verandert met de tijd.
Welke nier functioneert wel goed en welke niet? Leg uit waaraan je dat kunt zien.

b De gebruikte radioactieve stof heeft een halveringstijd van 6 uur.
Leg uit waarom 6 uur voor dit onderzoek een geschikte waarde is.



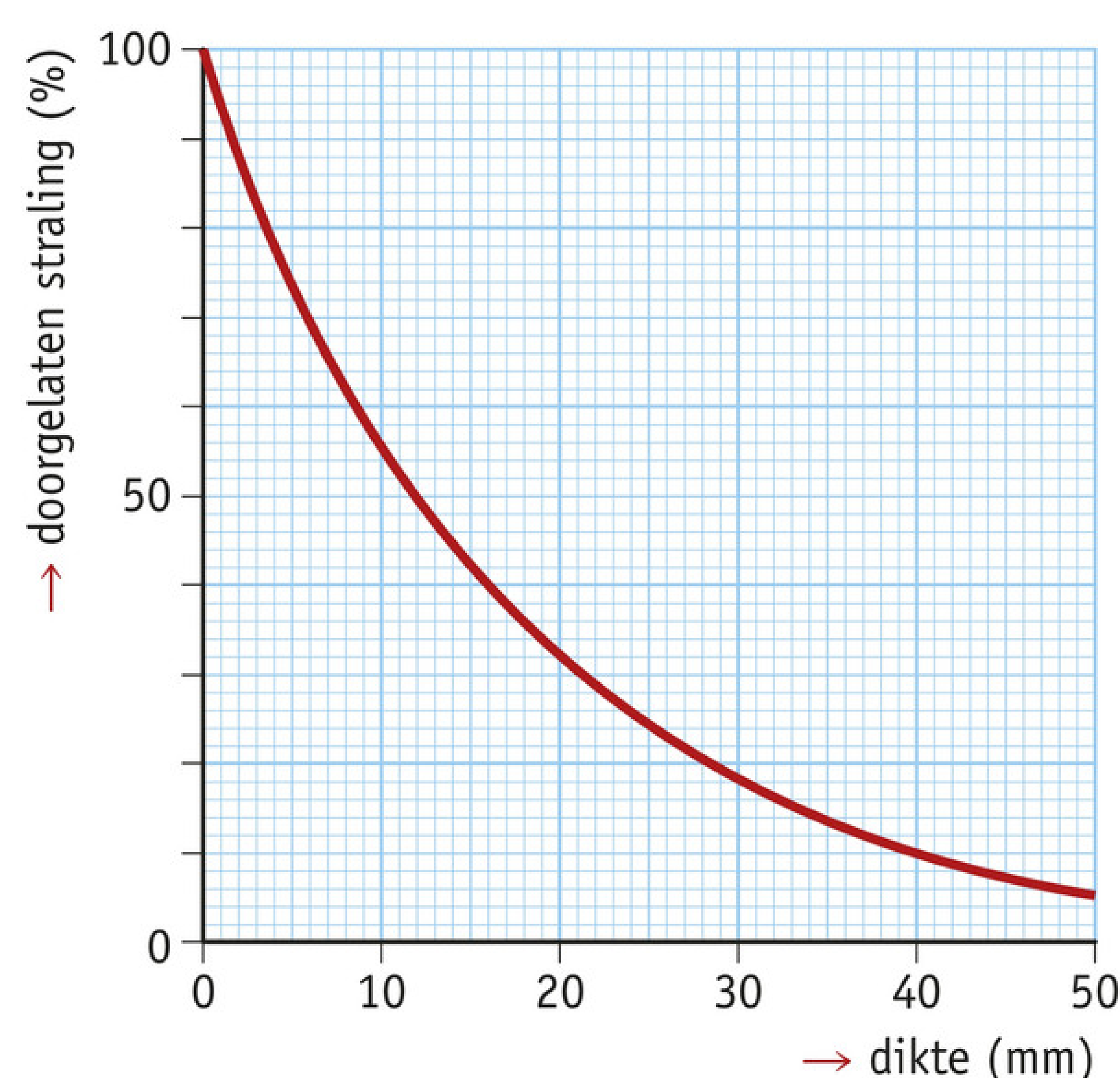
figuur 12 De hoeveelheid straling als functie van de tijd.

6 Lood wordt vaak gebruikt voor afscherming tegen gammastraling.

a Bepaal met figuur 13 hoe dik een loden afscherming moet zijn:

- om 50% van de opvallende gammastraling te absorberen: .... mm
- om 90% van de opvallende gammastraling te absorberen: .... mm

b Een container bevat een radioactieve bron die gammastraling uitzendt. De container heeft loden wanden met een dikte van 4,5 cm.
Bepaal hoeveel procent van de uitgezonden gammastraling de container tegenhoudt.



figuur 13 Hoe dikker de laag lood, hoe meer gammastraling wordt tegengehouden.

7 Na een behandeling in het ziekenhuis kan de urine van een patiënt radioactief zijn. De urine moet dan worden opgevangen en behandeld als radioactief afval.
Leg uit of deze veiligheidsmaatregel nodig kan zijn:

a bij patiënten die uitwendig bestraald zijn.

b bij patiënten die inwendig bestraald zijn.

8 De veiligheidsregels voor het werken met stralingsbronnen zijn gebaseerd op vier uitgangspunten.
Combineer elke veiligheidsregel van figuur 14 met het uitgangspunt waarop hij is gebaseerd.

A	regel 1	◯	◯	1	een grote afstand houden
B	regel 2	◯	◯	2	korte tijd blootstellen
C	regel 3	◯	◯	3	voorkomen van besmetting
D	regel 4	◯	◯	4	zorgen voor een goede afscherming

1. Voer alle handelingen snel, maar wel precies uit.
2. Neem alleen de hoeveelheid die nodig is en laat de rest in de voorraadkamer staan.
3. Pak de stralingsbron niet met de handen beet.
4. Draag een loodschort als je met radioactieve stoffen werkt (zie foto).



figuur 14 Veiligheidsregels voor de omgang met radioactieve bronnen.

9 Voedselbestraling is een techniek om voedsel langer houdbaar te maken. Door het voedsel te bestralen worden bacteriën, schimmels, insecten en veel andere parasieten gedood. Voedselbestraling vertraagt ook het rijpingsproces en het spruiten van groenten.

a Worden de producten radioactief door bestraling?
b Waarom wordt voor het bestralen gammastraling gebruikt?
c Waardoor komt het dat groenten minder snel spruiten als ze bestraald zijn?
d Veel mensen willen absoluut geen bestraalde levensmiddelen kopen.
Vind je dat terecht? Waarom wel/niet?

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS VERVALVERGELIJKINGEN

10 Beantwoord de volgende vragen.

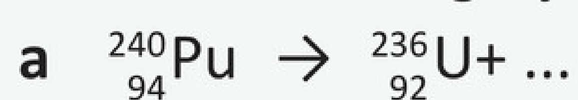
a Hoe verandert het aantal protonen en neutronen in een kern als een atoomkern een alfadeeltje uitstoot?

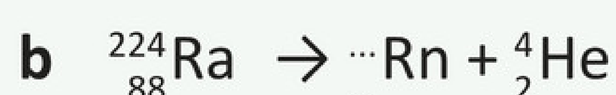
b Hoe verandert het massagetal als een atoomkern een alfadeeltje uitzendt?

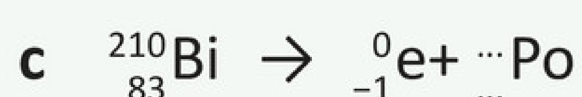
c Hoe verandert het ladingsgetal als een atoomkern een alfadeeltje uitzendt?

d Hoe verandert het ladingsgetal als een atoomkern een bètadeeltje uitzendt?

11 Vul de vervalvergelijkingen aan.

a 
$^{240}_{94}Pu \rightarrow ^{236}_{92}U + \ldots$

b 
$^{224}_{88}Ra \rightarrow ^{\ldots}_{\ldots}Rn + ^{4}_{2}He$

c 
$^{210}_{83}Bi \rightarrow ^{0}_{-1}e + ^{\ldots}_{\ldots}Po$

d Atoomkernen die ontstaan na een verval, zijn vaak zelf ook instabiel. $^{214}_{84}Po$ vervalt via een aantal tussenstappen tot $^{206}_{82}Pb$.

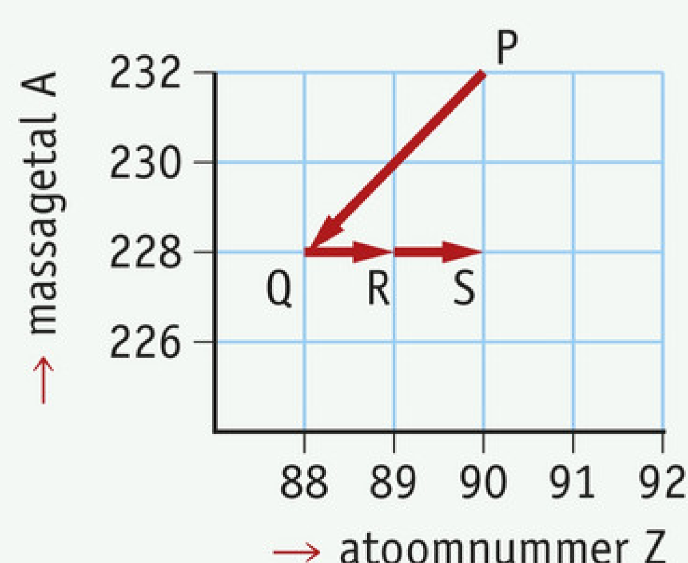
Leg uit hoeveel alfa- en bètadeeltjes hierbij zijn uitgezonden.

12 Opeenvolgende vervalreacties van instabiele kernen kun je handig weergeven in een zogeheten (*A*,*Z*)-diagram. In een (*A*,*Z*)-diagram is het aantal kerndeeltjes (*A*) van een isotoop uitgezet tegen het aantal protonen (*Z*). Een vervalproces wordt in het diagram door pijlen weergegeven. In figuur 15 is te zien dat een instabiele kern P vervalt naar kern Q, waarna deze vervalt naar kern R. Uiteindelijk vervalt deze naar de stabiele kern S.
Leg met figuur 15 uit:

a welk deeltje bij het verval van P naar Q wordt uitgezonden.

b welk deeltje bij het verval van Q naar R wordt uitgezonden.

c welke twee kernen in het rijtje P, Q, R en S tot hetzelfde element behoren.



figuur 15 Een (*A*,*Z*)-diagram.

Practica

PROEF 1 HET BRANDPUNT BEPALEN

20 minuten

Inleiding

Als een evenwijdige lichtbundel loodrecht op een lens valt, wordt het licht gebroken naar één punt: het brandpunt. De afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt noem je de brandpuntsafstand. Hoe sterker de lens, des te kleiner is de brandpuntsafstand.

Doel

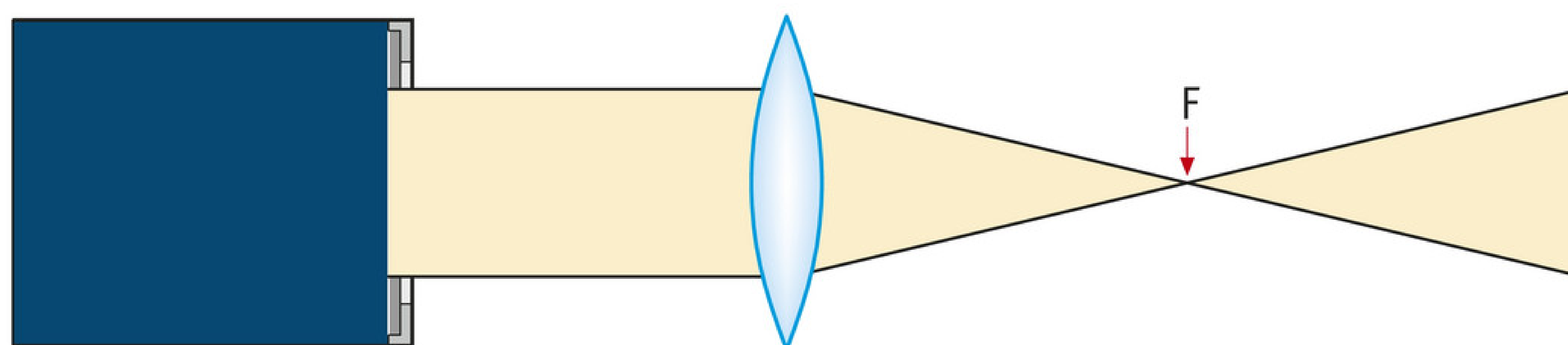
Je bepaalt van enkele positieve lenzen de brandpuntsafstand.

Nodig

- ☐ lichtkastje
- ☐ verschillende positieve schijflenzen
- ☐ vel wit papier

Uitvoeren en uitwerken

- Maak met je lichtkastje op het vel wit papier een evenwijdige lichtbundel door het lampje in het kastje te verschuiven. Maak de lichtbundel zo smal (enkele centimeters) dat hij smaller is dan de kleinste lens. Controleer of de lichtbundel ook echt evenwijdig is.
- Plaats een positieve lens op het vel wit papier in de evenwijdige lichtbundel (figuur 1). Laat de evenwijdige lichtbundel eerst van links en dan van rechts op de lens vallen.
- Geef op het papier de plaats van de beide brandpunten van de lens aan met een punt.



figuur 1 Zo plaats je de lens in de evenwijdige lichtbundel.

1 Bepaal voor elke lens de waarde van de brandpuntsafstand. Geef ook aan hoe je die hebt bepaald.

....

....

....

....

....

2 Rangschik de lenzen in volgorde van sterkte: de lens met de kleinste sterkte voorop.

....

....

....

3 Je had van tevoren al kunnen voorspellen welke lens het sterkst was.
Hoe dan?

....

....

....

....

PROEF 2 BEELDVORMING BIJ EEN BOLLE LENS

20 minuten

Inleiding

Met een positieve lens kun je twee lampjes op een scherm afbeelden. Als het scherm op de juiste plaats staat, is het beeld scherp: elk punt van het voorwerp (de lampjes) wordt dan afgebeeld als een punt op het scherm.

Doel

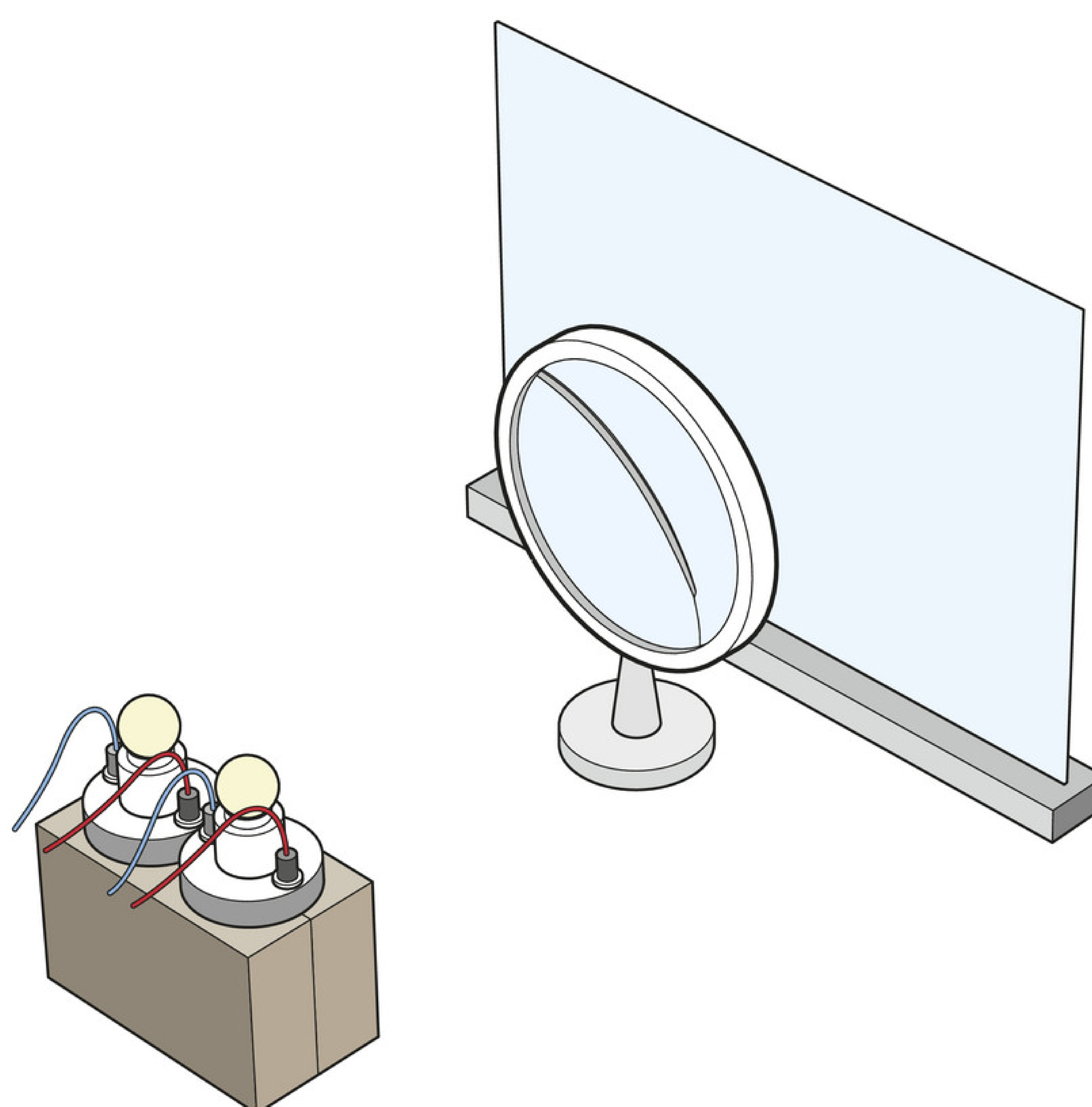
Bij deze proef onderzoek je hoe zo'n scherp beeld tot stand komt.

Nodig

- ☐ positieve lens (f = 10 cm)
- ☐ lenshouder
- ☐ scherm
- ☐ 2 lampjes
- ☐ 2 fittingen
- ☐ batterij
- ☐ 2 snoeren
- ☐ liniaal

Uitvoeren en uitwerken

- Maak de opstelling van figuur 2.
- Zet de lens 15 cm van het lampje af.
- Zet het scherm 5 cm achter de lens.



figuur 2 De opstelling van proef 2.

1 Meet de doorsnede van een van de lichtvlekken die je op het scherm ziet.

....

- Schuif het scherm 5 cm verder bij de lens vandaan.

2 Worden de lichtvlekken groter of kleiner?

....

....

3 Gaan de lichtstralen op deze plaats naar elkaar toe of juist van elkaar af?

....

....

- Schuif het scherm nog wat verder naar achteren. Zoek de plaats op waar de lichtvlekken het kleinst zijn. Op dat moment zie je een scherp beeld van de beide lampjes.

4 Worden de lampjes rechtop of op de kop afgebeeld?

....

- Dek het linker lampje met je hand af.

5 Welk lampje verdwijnt er nu uit het beeld: het linker of het rechter?

....

- Houd het ene lampje boven het andere. Dek het bovenste lampje met je hand af.

6 Welk lampje verdwijnt er dan uit het beeld: het onderste of het bovenste?

....

- Schuif het scherm nog 10 cm verder bij de lens vandaan. Bekijk de lichtvlekken die je nu op het scherm ziet.

7 Gaan de lichtstralen op deze plaats naar elkaar toe of juist van elkaar af?

....

8 Lees je antwoorden op de vragen 1 tot en met 7 nog eens door.

a Beschrijf hoe de lichtvlekken veranderen als je het scherm steeds verder bij de lens vandaan schuift.

....

....

....

....

b Leg uit waardoor het komt dat de lichtvlekken zo veranderen. Maak een schets bij je uitleg.

....

....

....

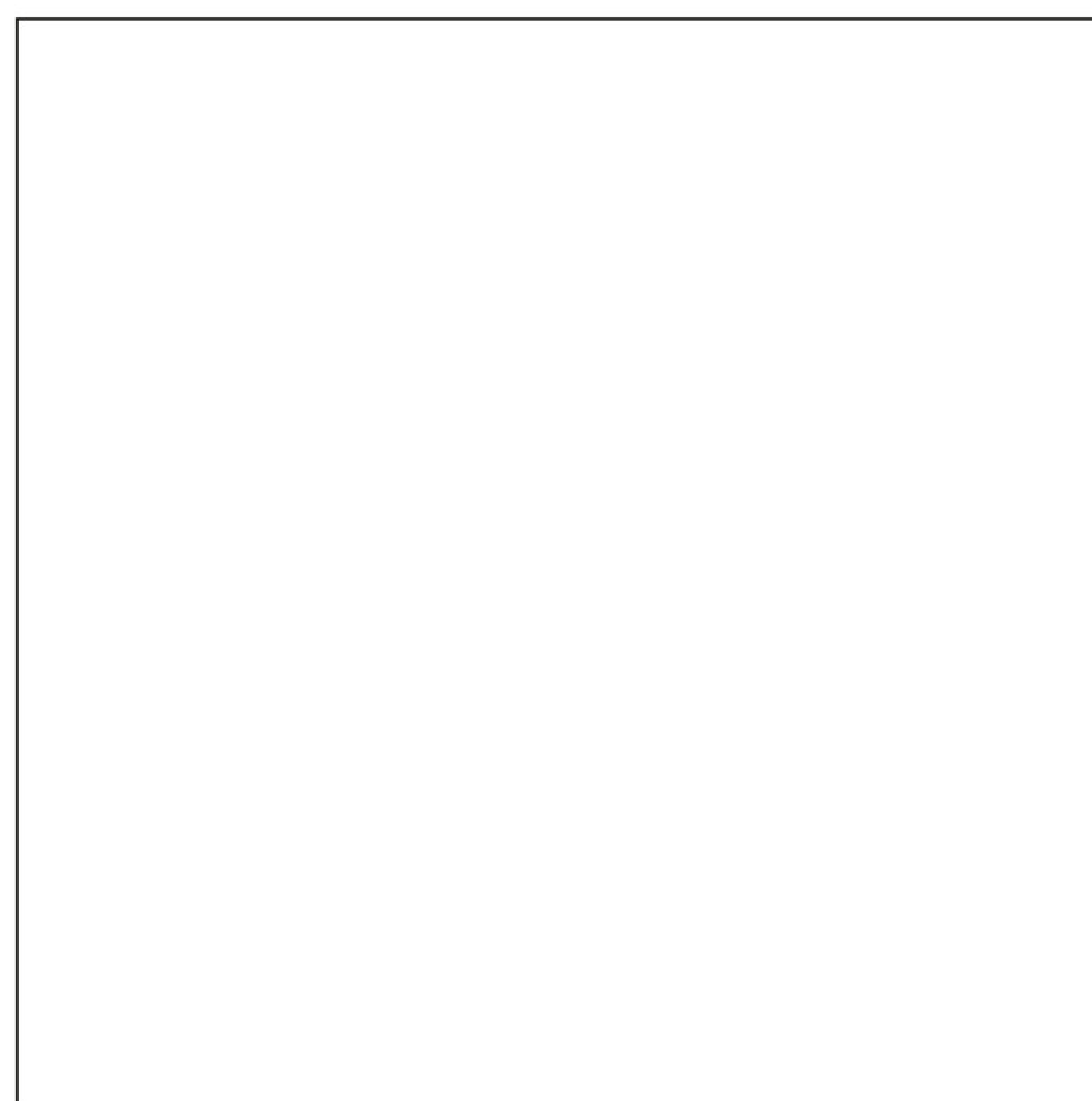
....

....

....

....

....



De volgende proeven staan in de online leeromgeving. Je docent beslist welke van deze proeven worden uitgevoerd.

PROEF 3 DE LENZENFORMULE

45 minuten

Inleiding

Je doet onderzoek naar het verband tussen de brandpuntsafstand, de voorwerpsafstand en de beeldafstand.

PROEF 4 EEN ONTWERP MAKEN – DE STERRENKIJKER

90 minuten

Inleiding

Je ontwerpt een sterrenkijker.

De kunst van het ontmaskeren

Het is de nachtmerrie van elke kunstverzamelaar: een bedrag met vijf nullen neertellen voor een schilderij uit de gouden eeuw en dan later horen: "Sorry meneer, mevrouw, we hebben het onderzocht en er is helaas geen twijfel mogelijk. Dat schilderij van u kan onmogelijk in de zeventiende eeuw zijn gemaakt. Het doek is antiek, maar de verf is recent, nog geen veertig jaar oud. Het lijkt erop dat u zich hebt laten beetnemen ..."

Het zijn niet alleen kunstliefhebbers die zich laten bedriegen. Het overkomt de echte professionals net zo goed. In België ontstond enkele jaren geleden rumoer rond een *Madonna met Kind* van – dacht iedereen – meesterschilder Rogier van der Weyden (1399–1464). Het schilderij hing al vijftig jaar in het Museum voor Schone Kunsten in Doornik en was volgens kenners een meesterwerk. Iedereen was dan ook stomverbaasd toen de waarheid aan het licht kwam. Uit onderzoek bleek dat de *Madonna met Kind* het werk is van een twintigste-eeuwse vervalser. "Niets op het doek is vijftiende-eeuws," aldus Roger Van Schoute, een van de deskundigen. En toch ziet het schilderij er volkomen authentiek uit, tot het *craquelé* (de haarscheurtjes in de verf) aan toe.

VERBORGEN LAGEN

Kunstkenners zullen het niet snel toegeven, maar een goede vervalsing herken je niet met het blote oog. Verzamelaars en museumdirecteuren vertrouwen daarom steeds vaker op wetenschappelijk onderzoek. Daarbij wordt op allerlei manieren naar het schilderij gekeken: niet alleen met zichtbaar licht, maar ook met infrarode straling, ultraviolette straling en röntgenstraling. Elke vorm van

> *"Kunstkenners zullen het niet snel toegeven, maar een goede vervalsing herken je niet met het blote oog."*

straling onthult bijzonderheden die je anders niet te zien krijgt.

Een olieverfschilderij heeft een complexe opbouw met verschillende lagen en laagjes. De onderste laag is de drager: een opgespannen doek of een houten paneel. Daarop bracht de schilder eerst een plamuurlaag aan. Vervolgens maakte hij met houtskool een tekening van de compositie die hij had uitgedacht.

Pas daarna begon het echte schilderen met olieverf. Ook dat ging in lagen: eerst een onderschildering met weinig kleur en daarna allemaal dunne, halfdoorzichtige verflaagjes. Langzaam ontstond een schilderij met levensechte diepe kleuren. Ten slotte werd een doorzichtige vernislaag op de schildering aangebracht als bescherming tegen stof en vuil.

EEN SCHILDERIJ DOORLICHTEN

Voor elke laag bestaan er andere onderzoekstechnieken (figuur 1). De vernislaag wordt getest met uv-straling. Die laat het vernis oplichten, zoals een bankbiljet oplicht onder een uv-lamp. Daarbij zet het vernis de opvallende uv-straling om in zichtbaar licht. De natuurlijke vernissen uit vroegere eeuwen stralen dan groengeel licht uit. Moderne synthetische vernissen lichten op in wit of paars.

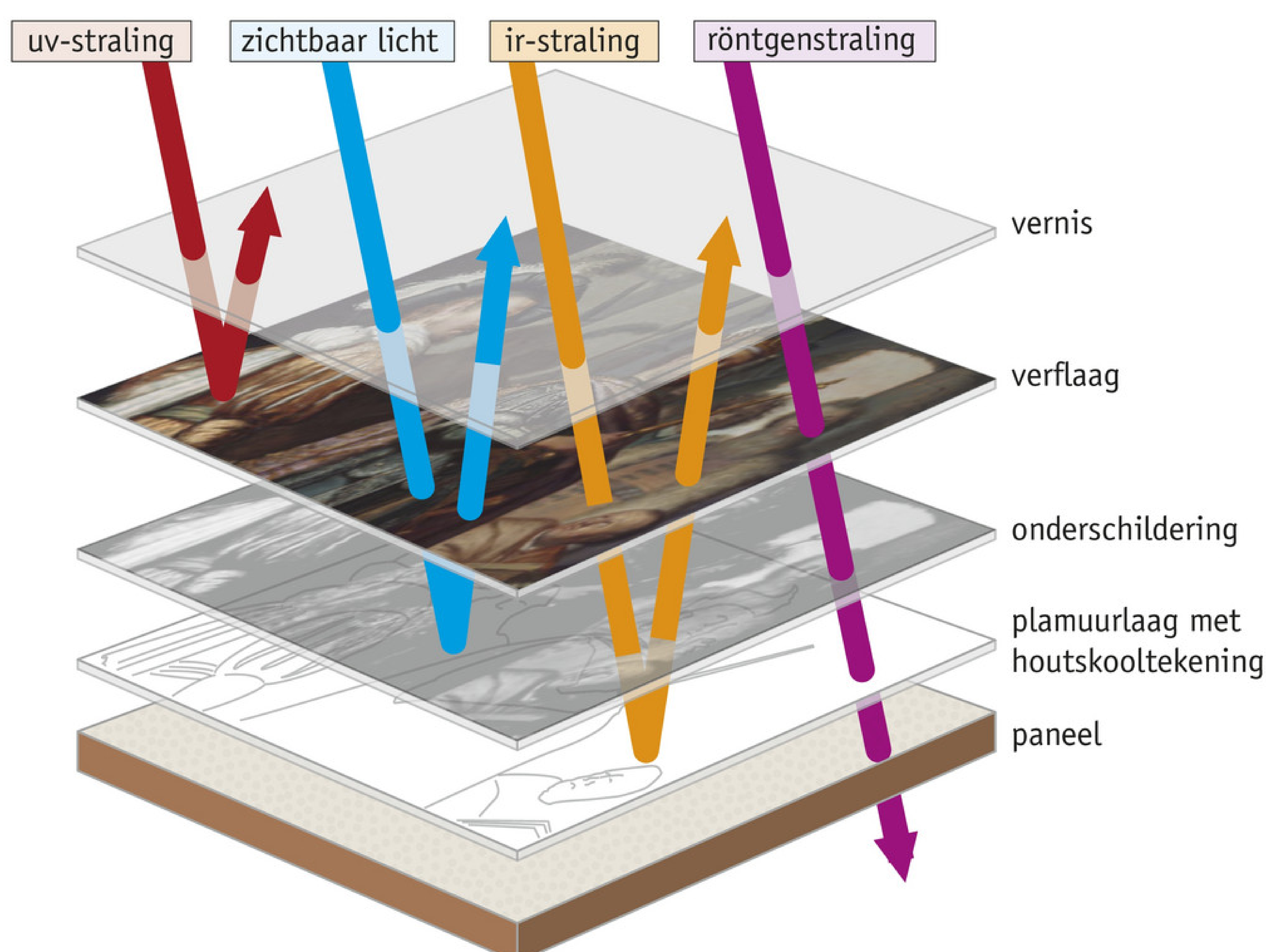
Voor de dieper gelegen verflagen gebruikt een onderzoeker röntgenstraling. Elke verflaag bestaat uit kleine korreltjes pigment (kleurstof) in een bindmiddel, zoals lijnolie. Pigmenten met zware metalen speelden vroeger een belangrijke rol in de schilderkunst (figuur 2). De oude meesters gebruikten onder andere loodwit (een loodverbinding), lood-tingeel (een loodverbinding met tin) en vermiljoen (een rode verbinding van kwik en zwavel). Deze pigmenten zijn erg giftig. Nu worden ze weinig of niet meer gebruikt, maar eens waren ze in elk schildersatelier te vinden.

De meeste pigmenten laten röntgenstraling ongehinderd passeren, maar dat geldt niet voor pigmenten die zware metalen bevatten. Omdat ze röntgenstraling absorberen, zijn ze goed zichtbaar op een röntgenfoto.

Loodwit was een belangrijk bestanddeel van de onderschildering, de eerste globale versie van een olieverfschilderij die als basis diende voor de volgende lagen. Je kunt zo'n onderschildering goed onderscheiden op een röntgenfoto dankzij het absorberende loodwit. De onderschildering moet in grote lijnen overeenkomen met het schilderij dat je ziet. Als de onderschildering er heel anders uitziet, is dat een aanwijzing voor fraude.



figuur 2 Pigmenten met zware metalen.



figuur 1 Voor het onderzoek van de verschillende lagen worden verschillende soorten straling gebruikt.



figuur 3 Op dit schilderij zie je de houtskooltekening.

REFLECTIES IN INFRAROOD

De schilder maakte daarna op de plamuurlaag met houtskool een tekening (figuur 3). Houtskool bestaat uit koolstof en dat laat röntgenstraling gewoon door. De tekening kun je daarom met röntgenstraling niet zichtbaar maken. Dat kan wel met ir-straling.

De ir-straling passeert de verflagen van het schilderij, wordt weerkaatst door de plamuurlaag en komt dan weer terug naar buiten. Het gaat anders op plaatsen waar houtskool is aangebracht. Houtskool is zwart en absorbeert de ir-straling. De houtskoollijnen van de tekening reflecteren de ir-straling daardoor niet of nauwelijks (figuur 4). Een infraroodcamera vangt de gereflecteerde straling op en zet die om in een zwart-witbeeld. Daarop is de houtskooltekening verrassend duidelijk te zien. Onderzoekers gaan dan na of die tekening van de meesterschilder zelf is. Als dat zo is, gaat het hoogstwaarschijnlijk om een origineel werk. Als dat niet zo is, is het schilderij waarschijnlijk gemaakt door iemand anders.




figuur 4 Met de ir-straling zijn de houtskoollijnen van de ondertekening ontmaskerd.

DATEREN MET KOOLSTOF-14

In schilderijen zitten altijd natuurlijke materialen, zoals het schilderslinnen of het hout waarop werd geschilderd. Deze materialen zijn van plantaardige oorsprong en je kunt ze daarom dateren met de koolstof 14-methode. Door te kijken naar de hoeveelheid radioactief koolstof-14 in het materiaal kun je de ouderdom ervan vrij nauwkeurig bepalen.

Als de koolstof 14-methode een veel te jonge leeftijd oplevert, weet je dat het om een vervalsing moet gaan. Het omgekeerde gaat niet op. Een vervalser kan een oud, maar waardeloos schilderij kopen en zijn vervalsing daar eenvoudigweg overheen schilderen. Om uitsluitsel te geven over de echtheid van een schilderij is naast koolstof 14-datering altijd aanvullend onderzoek nodig. Dat aanvullend onderzoek is de sleutel. Als een schilderij een vervalsing is, zijn er altijd wel dingen die niet kloppen. Maar je weet van tevoren niet waar je precies naar moet kijken. Het is de kunst om geduldig te blijven zoeken – totdat je die ene misser vindt die het bedrog ontmaskert.

De koolstof 14-methode

Onder invloed van kosmische straling uit het heelal wordt er boven in de atmosfeer steeds koolstof-14 aangemaakt. Hierdoor blijft de verhouding tussen het stabiele koolstof-12 en het radioactieve koolstof-14 in de atmosfeer min of meer constant.
Een plant neemt zolang hij leeft koolstof op uit de atmosfeer. Hierdoor komen beide isotopen in de plant voor, in dezelfde verhouding als in de atmosfeer. Dat verandert als de plant wordt geoogst; een dode plant neemt geen koolstof-14 meer op.
Door natuurlijk verval neemt de hoeveelheid koolstof-14 daarna steeds verder af. Door de verhouding tussen het resterende koolstof-14 en koolstof-12 te meten, kunnen onderzoekers de ouderdom van het materiaal bepalen.

OPDRACHTEN

1 Het vernis op een schilderij gaat fluoresceren als er uv-straling op valt. Het vernis zendt dan ook zelf straling uit.

a Tussen welke grenzen ligt de golflengte van de uitgezonden straling? Waaruit leid je dat af?

b Leg uit waarom het niet verstandig is om een schilderij langdurig aan sterke uv-straling bloot te stellen.

2 Bij het onderzoeken van oude schilderijen worden vaak röntgenfoto's gemaakt. Het schilderij wordt daarvoor plat neergelegd, met de röntgenbron er een eindje boven en de stralingsdetector er vlak onder.

a Leg uit of het uitmaakt dat de onderzoeker het schilderij 'met de goede kant omhoog' legt of 'met de goede kant naar beneden'.

b Hoe komt het dat de onderschildering op een röntgenfoto vaak goed te zien is, terwijl de verflagen daarboven vrijwel onzichtbaar zijn?

c Kun je op een röntgenfoto ook zien in welke laag een bepaald pigment is gebruikt? Leg uit waarom wel of waarom niet.

3 Zoek op internet een *carbon dating calculator*.

a Het doek van een schilderij bevat nog 95% van de oorspronkelijke hoeveelheid koolstof-14.
Hoe oud is het linnen?

b Een bekend schilderij van de Italiaanse schilder Giotto is rond 1310 geschilderd op een houten paneel.
Het percentage van de oorspronkelijke hoeveelheid koolstof-14 in het hout is nu op zijn hoogst ....%.

c Leg uit waarom er in opdracht b 'op zijn hoogst' staat.

Leerstofoverzicht

6.1 ELEKTROMAGNETISCHE STRALING

ONTHOUD

- Elektromagnetische golven ontstaan bij een antenne doordat elektronen daar zeer snel op en neer bewegen. In de antenne van de ontvanger worden door die elektromagnetische golven weer elektronen in beweging gebracht.
- Elektromagnetische golven bewegen van de bron af in alle richtingen. Ze planten zich zelfstandig voort, ook door een vacuüm.
- Elektromagnetische golven hebben in vacuüm altijd dezelfde snelheid: $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. Deze snelheid wordt de lichtsnelheid genoemd en heeft een eigen symbool: *c*.
- Als je weet hoelang licht onderweg is van de ene naar de andere plaats, dan kun je de afgelegde afstand uitrekenen met de formule: $s = c \cdot t$
- Iedere soort elektromagnetische straling kenmerkt zich door de frequentie met een bijbehorende golflengte. Met afnemende grootte van golflengte zijn de volgende zes soorten elektromagnetische straling te onderscheiden: radiogolven, ir-straling, licht, uv-straling, röntgenstraling en gammastraling.
- Uv-straling, röntgenstraling en gammastraling zijn ioniserende straling. Zij kunnen moleculen kapotmaken. Radiogolven, ir-straling en licht kunnen dit niet.

BEGRIPPEN

elektromagnetische golven
Golven met een hoge frequentie die ontstaan als gevolg van een wisselstroom. Ze maken de overdracht van informatie door de lucht mogelijk, zoals bij mobiele telefoons.

frequentie
Het aantal golftoppen dat per seconde voorbijkomt.

golflengte
De afstand tussen twee golftoppen of tussen twee golfdalen.

ioniserende straling
Straling die moleculen kapot kan maken.

lichtsnelheid
Snelheid van het licht, in vacuüm 299 792 458 ($3{,}0 \cdot 10^8$) meter per seconde.

spectraalkleuren
Kleuren die ontstaan als wit licht door een prisma wordt ontleed.

spectrum
Overzicht waarin verschillende soorten elektromagnetische straling zijn geordend op frequentie.

6.2 LICHT EN LENZEN

ONTHOUD

- Een positieve of bolle lens is in het midden dikker dan aan de randen. Lichtstralen die voor de lens evenwijdig aan de hoofdas lopen, worden afgebogen naar het brandpunt.
- Een negatieve of holle lens is in het midden dunner dan aan de randen. Lichtstralen die voor de lens evenwijdig aan de hoofdas lopen, bewegen na de lens van elkaar af. Het lijkt dan alsof alle stralen uit het brandpunt komen.
- De voorwerpsafstand *v* is de afstand tussen de lens en het voorwerp; de beeldafstand *b* is de afstand tussen de lens en het beeld.
- Je gebruikt voor de constructie van de beeldafstand twee constructiestralen. Constructiestraal 1 gaat door het midden van de lens en verandert niet van richting. Constructiestraal 2 loopt voor de lens evenwijdig aan de hoofdas. Na de lens gaat deze lichtstraal door het brandpunt F van de lens.

BEGRIPPEN

beeldafstand
Afstand tussen de lens en een scherp beeld van een voorwerp.

beeldpunt
Punt van een optisch beeld. In een camera is dit punt de weergave van het bijbehorende punt in de werkelijkheid.

bolle lens
Lens die aan de rand dunner is dan in het midden.

brandpunt
Lichtstralen die voor een lens evenwijdig aan de hoofdas lopen, komen na de lens samen in dit punt.

brandpuntsafstand
Afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt.

constructiestralen
Twee lijnen die je kunt gebruiken om een beeld achter een lens te construeren. De lijnen stellen lichtstralen voor.

construeren
Met een tekening op schaal erachter komen waar een scherp beeld ontstaat achter de lens.

holle lens
Lens die aan de rand dikker is dan in het midden.

hoofdas
Lijn die door het midden van de lens loopt, loodrecht op de lens.

lichtbreking
Verschijnsel dat optreedt als een lichtstraal van richting verandert wanneer de straal op het grensvlak tussen twee doorzichtige stoffen valt.

negatieve lens
Holle lens, die aan de rand dikker is dan in het midden.

positieve lens
Bolle lens, die aan de rand dunner is dan in het midden.

voorwerpsafstand
Afstand tussen de lens en het voorwerp.

6.3 RÖNTGENFOTO'S MAKEN

ONTHOUD

- Als elektromagnetische straling op een voorwerp valt, kan de straling:
  - worden doorgelaten: transmissie;
  - worden gereflecteerd: reflectie;
  - worden opgenomen: absorptie.
- Om een röntgenfoto te maken zijn een röntgenbron en een detectorscherm nodig. Op een röntgenfoto zijn de harde weefsels zoals botten en tanden wit en de zachte weefsels donker.
- Straling die dwars door je lichaam heen gaat richt geen schade aan. Straling die wordt geabsorbeerd, geeft haar energie af aan moleculen in je lichaam die hierdoor kapot kunnen gaan.
- Werknemers die werken met röntgenapparatuur moeten goed worden beschermd. Dit kunnen zij doen door genoeg afstand te houden of achter een muur met daarin lood te gaan staan.

BEGRIPPEN

absorptie
Opnemen van straling door een voorwerp of een hoeveelheid stof.

detectorscherm
Een plaat met detectoren die gevoelig zijn voor röntgenstraling.

reflectie
Weerkaatsen van straling door een oppervlak.

röntgenbron
Apparaat dat röntgenstraling produceert.

transmissie
Doorlaten van straling door een voorwerp of een hoeveelheid stof.

6.4 WERKEN MET GAMMASTRALING

ONTHOUD

- Een radioactieve stof is een stof die sterk ioniserende straling uitzendt.
- De halveringstijd of halfwaardetijd geeft aan hoelang het duurt voordat de helft van de radioactieve stof is omgezet in een andere stof.
- Radioactieve stoffen kunnen zowel deeltjes als elektromagnetische straling uitzenden. Alfastraling en bètastraling zijn beide deeltjesstraling; gammastraling is elektromagnetische straling. Gammastraling heeft het grootste doordringend vermogen, gevolgd door bètastraling en daarna alfastraling, dat het kleinste doordringend vermogen heeft.
- Tracers of radioactieve merkstoffen worden gebruikt om scans van je lichaam te maken. Zij zenden gammastraling uit die door een gammacamera buiten je lichaam wordt opgevangen. Een computer construeert van deze gegevens een beeld.
- Je spreekt van bestraling van je lichaam als straling van een bron door je lichaam heen gaat. Als radioactieve stoffen in of op je lichaam terechtkomen, dan noem je dat besmetting. Van bestraling wordt je lichaam niet radioactief.

BEGRIPPEN

alfastraling
Soort straling die ontstaat na alfaverval. Deze straling heeft een klein doordringend vermogen.

bestraling van buitenaf
Situatie waarbij het lichaam door straling van een radioactieve bron wordt bestraald, maar niet in contact komt met de radioactieve bron.

bètastraling
Soort straling die ontstaat na bètaverval. Deze straling heeft een groter doordringend vermogen dan alfastraling, maar minder dan gammastraling.

deeltjesstraling
Stroom zeer kleine deeltjes die met grote snelheid in verschillende richtingen bewegen.

doordringend vermogen
Het vermogen van een soort straling om in een stof door te dringen.

dracht
De maximale afstand die alfa- en bètadeeltjes in een stof kunnen afleggen.

gammacamera
Een camera die beelden maakt op basis van gammastraling.

gammastraling
Soort straling die ontstaat na gammaverval. Deze straling bestaat uit golven die zich voortplanten met de lichtsnelheid en heeft een groot doordringend vermogen.

halveringstijd of halfwaardetijd
Eigenschap van een isotoop die aangeeft in hoeveel tijd de helft van de instabiele atoomkernen vervalt en die aangeeft na hoeveel tijd de activiteit van de bron met de helft is verminderd.

kunstmatig radioactief
Stoffen die kunstmatig radioactief zijn worden kunstmatig (door mensen) gemaakt.

natuurlijk radioactief
Stoffen die natuurlijk radioactief zijn komen in de natuur voor.

radioactief
Benaming van een stof die ioniserende straling uitzendt.

radioactieve besmetting
Situatie waarbij radioactieve stoffen in een lichaam terechtkomen en het lichaam zelf een radioactieve bron wordt.

scan
Beeld van het menselijk lichaam dat wordt gemaakt door straling in verschillende richtingen door het lichaam te sturen.

tracer
Radioactieve merkstof. Er kan onderzoek mee worden gedaan naar de werking van specifieke organen. Er kunnen ook tumoren mee worden opgespoord.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

Vaardigheden

GEGEVENS VERZAMELEN EN VERWERKEN

Bij het vak natuurkunde gaat het zowel om kennis (wat je weet) als om vaardigheden (wat je kunt). Bij die vaardigheden horen onder andere het bouwen van proefopstellingen, het verzamelen van meetgegevens, het uitvoeren van berekeningen en het tekenen van grafieken. In dit deel van het boek vind je een overzicht.



1 Onderzoek doen

Het doen van onderzoek begint met een onderzoeksvraag. Je maakt een plan om achter het antwoord te komen, en voert dat plan daarna zelf uit. Daarbij ga je stap voor stap te werk.

Stap 1 **Bedenk een onderzoeksvraag.**
Soms staat de onderzoeksvraag al in de opdracht vermeld. Dan hoef je er alleen maar over na te denken hoe je die vraag kunt beantwoorden. Soms wordt van jou verwacht dat je zelf een onderzoeksvraag bedenkt. Wees daarbij niet te gauw tevreden: je moet wel een idee hebben hoe je je vraag kunt beantwoorden. Formuleer voordat je verdergaat je onderzoeksvraag zo precies mogelijk.

Stap 2 **Maak een werkplan.**
In je werkplan schrijf je op:
- welke grootheden je gaat meten;
- welke materialen en apparatuur je nodig hebt;
- welke opstelling je gaat bouwen (maak een tekening);
- welke metingen je gaat uitvoeren;
- (eventueel) welke formules je gaat gebruiken.

Stap 3 **Uitvoeren en uitwerken.**
Je bouwt de proefopstelling en voert daarmee de geplande metingen uit. Na elke meting noteer je de meetwaarden overzichtelijk, bijvoorbeeld in een tabel. Na afloop werk je de metingen verder uit, bijvoorbeeld door een grafiek te tekenen of door berekeningen te maken. Raadpleeg daarvoor zo nodig de andere vaardigheden.

Stap 4 **Conclusies trekken.**
Als alles goed is gegaan, kun je nu conclusies trekken. Die conclusies vormen samen het antwoord op je onderzoeksvraag. Een conclusie is geen samenvatting van de meetresultaten, maar iets wat je uit die meetresultaten afleidt (concludeert). Vraag je ook af wat er in je onderzoek beter had gekund.

Stap 5 **Een verslag maken.**
Tot slot maak je een verslag van je onderzoek. Zie de vaardigheid *Een verslag schrijven*.

2 Werken met grootheden en eenheden

Een grootheid is iets wat je kunt meten. Voorbeelden van grootheden zijn massa, kracht, weerstand en tijd. Om een grootheid te kunnen meten, heb je een eenheid nodig. Je meet de massa in kilogram, de kracht in newton, de weerstand in ohm en de tijd in seconden.

Vaak past de grootte van een eenheid niet goed bij de grootte van wat je wilt meten. In zo'n geval kun je een voorvoegsel voor de eenheid zetten. In plaats van: "De dikte is 0,0003 meter" schrijf je: "De dikte is 0,3 mm."

Je kunt een voorvoegsel altijd vervangen door een macht van 10 (en omgekeerd). In plaats van: "Door de leidingen te isoleren, bespaar je 4,8 GJ aan warmte" kun je ook schrijven: "Door de leidingen te isoleren, bespaar je $4{,}8 \cdot 10^9$ J aan warmte." Zie tabel 1.

tabel 1 Voorvoegsels en hun betekenis.

voorvoegsel	afkorting	betekenis	voorbeeld
giga	G	10^9	1 GJ = 10^9 J
mega	M	10^6	1 MW = 10^6 W
kilo	k	10^3	1 kN = 1000 N
hecto	h	10^2	1 hPa = 100 Pa
deca	da	10^1	1 dam = 10 m
deci	d	10^{-1}	1 dL = 0,1 L
centi	c	10^{-2}	1 cm = 0,01 m
milli	m	10^{-3}	1 mΩ = 0,001 Ω
micro	µ	10^{-6}	1 µg = 10^{-6} g
nano	n	10^{-9}	1 ns = 10^{-9} s

Soms zijn er voor één grootheid verschillende eenheden in gebruik. Denk aan elektrische energie in joule (J) en kilowattuur (kWh) of aan snelheid in meter per seconde (m/s) en kilometer per uur (km/h). In dat geval is het soms nodig dat je een gegeven van de ene eenheid naar de andere omrekent.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Volgens een consumentenorganisatie verbruikt een gemiddeld Nederlands gezin ongeveer 300 kWh elektrische energie per maand.
Hoeveel is dat in joule?

1 kWh = $3{,}6 \cdot 10^6$ J

300 kWh = $300 \times 3{,}6 \cdot 10^6 = 1{,}08 \cdot 10^9$ J (of 1,08 GJ)

VOORBEELDOPDRACHT 2

Volgens een autofabrikant is de maximale snelheid van zijn topmodel 255 km/h.
Hoeveel m/s is dat?

1 m/s = 3,6 km/h

255 km/h = $\frac{255}{3{,}6}$ = 71 m/s

3 Werken met machten van 10

Bij het vak natuurkunde krijg je regelmatig te maken met getallen die erg groot of juist erg klein zijn. Er is een manier bedacht om dat soort getallen handig op te schrijven. Voor grote getallen gebruik je positieve machten van 10. Voor kleine getallen gebruik je negatieve machten van 10.

positieve machten
$10^1 = 10$
$10^2 = 10 \times 10 = 100$
$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$
enzovoort

negatieve machten
$10^{-1} = 1/10 = 0{,}1$
$10^{-2} = 1/10 \times 1/10 = 1/100 = 0{,}01$
$10^{-3} = 1/10 \times 1/10 \times 1/10 = 1/1000 = 0{,}001$
enzovoort

Als je dat wilt, kun je een macht van 10 vervangen door een voorvoegsel. In plaats van: "Het vermogen van de centrale is $4{,}75 \cdot 10^8$ W" kun je ook schrijven: "Het vermogen van de centrale is 475 MW." Reken maar na:
$4{,}75 \cdot 10^8$ W = $475 \cdot 10^6$ W = 475 MW (M = 10^6)

VOORBEELDOPDRACHT
De kerncentrale in Gravelines (Frankrijk) heeft een elektrisch vermogen van 5460 MW. In de praktijk wordt maar 75% van dit vermogen ook echt geleverd. Gemiddeld is 25% van het vermogen niet beschikbaar, vooral vanwege onderhoud.
Bereken hoeveel kWh elektrische energie de kerncentrale in één jaar levert.

75% van 5460 MW = 4095 MW
P = 4095 MW = $4095 \cdot 10^6$ W = $4095 \cdot 10^3$ kW
$t = 365 \times 24 = 8760$ h

$E = P \cdot t$
$= 4095 \cdot 10^3 \times 8760$
$= 36 \cdot 10^9$ kWh

De centrale produceert elk jaar 36 miljard kWh elektrische energie.

tabel 2 Voorbeelden van machten van 10 uit de natuur.

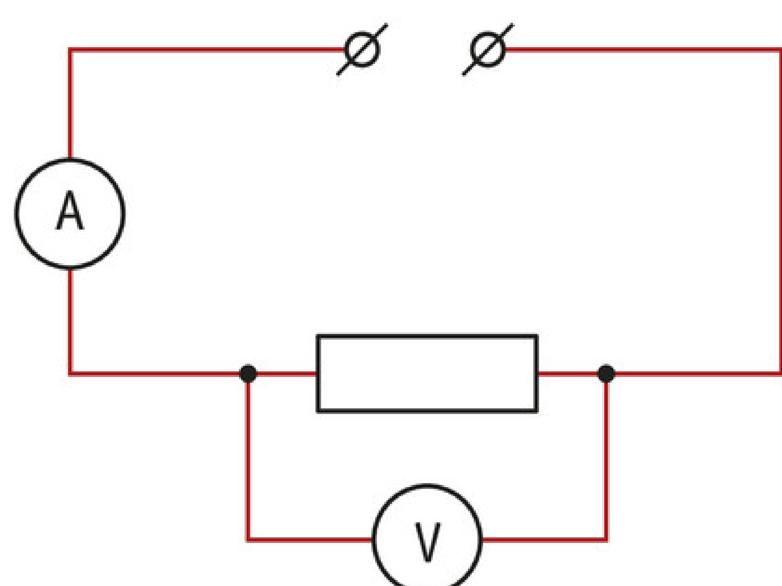
	lengte (m)	massa (kg)	tijd (s)
10^{-10}	diameter atoom		
10^{-9}			
10^{-8}	diameter kleinste virus		
10^{-7}		massa zandkorrel	
10^{-6}	diameter bacterie	massa regendruppel	
10^{-5}	diameter rode bloedcel		
10^{-4}	dikte papier	massa vlieg	duur bliksemflits
10^{-3}			
10^{-2}	dikte vinger	massa muis	
10^{-1}			reactietijd mens
10^{0}	lengte mens	massa pak suiker	tijd tussen twee hartslagen
10^{1}			record 100 m hardlopen
10^{2}	lengte supertanker	massa mens	
10^{3}		massa auto	één kwartier
10^{4}	maximale diepte oceaan		
10^{5}		massa jumbojet	één dag
10^{6}	diameter maan		
10^{7}	diameter aarde		één jaar
10^{8}	afstand aarde-maan	massa supertanker	
10^{9}			levensduur mens
10^{10}			
10^{11}	afstand zon-aarde		ouderdom piramides
10^{12}			moderne mens aanwezig op aarde

4 Werken met meetinstrumenten

Bij het vak natuurkunde werk je met allerlei meetinstrumenten. Om een goede meting uit te kunnen voeren, ga je stap voor stap te werk.

Stap 1 **Bepaal welk(e) meetinstrument(en) je nodig hebt.**
Bij een onderzoek wil je een vraag beantwoorden zoals:
Klopt het elektrisch vermogen dat op dit apparaat is vermeld?
Je weet dat je het elektrisch vermogen kunt bepalen met de formule $P = U \cdot I$. Dat betekent dat je de spanning (U) en de stroomsterkte (I) moet meten. Je hebt dus twee meetinstrumenten nodig: een spanningsmeter en een stroommeter.

Stap 2 **Sluit het meetinstrument aan.**
Stroom- en spanningsmeters moet je correct aansluiten: een stroommeter in serie met het apparaat, een spanningsmeter parallel (figuur 1).
Bij gelijkstroom en -spanning is ook de stroomrichting van belang. Je moet de pluskant van de meter verbinden met de pluspool van de spanningsbron en de minkant met de minpool. Meestal is de pluskant een rood busje en de minkant een zwart busje (figuur 2).



figuur 1 Zo sluit je een spanningsmeter en een stroommeter aan.



figuur 2 Hoe groot is de stroomsterkte?

Stap 3 **Kies het juiste meetbereik.**
Stroom- en spanningsmeters hebben vaak meer dan één meetbereik. De stroommeter in figuur 2 heeft bijvoorbeeld drie meetbereiken: 0 tot 5 A, 0 tot 0,5 A en 0 tot 0,05 A. Je kunt het meetbereik dat je moet gebruiken, als volgt vinden:

- Maak een proefmeting met het grootste meetbereik.
- Kijk hoe groot de stroomsterkte of de spanning ongeveer is.
- Kies het kleinste meetbereik waarbij je de meter nog kunt aflezen.
- Hoe kleiner het gebruikte meetbereik, des te nauwkeuriger is het meetresultaat.

Stap 4 **Lees het meetinstrument af.**

Veel meetinstrumenten hebben een schaalverdeling. Bij het aflezen van zo'n meetinstrument bepaal je eerst hoeveel elk streepje waard is. Daarna lees je zo nauwkeurig mogelijk de meetwaarde af.

Bij de stroommeter in figuur 2 redeneer je bijvoorbeeld als volgt:

- Ik heb het meetbereik van 0 tot 0,5 A gebruikt.
- Tussen 0,3 en 0,4 A zijn er tien tussenruimtes.
- Elk streepje is dus $\frac{0{,}1}{10}$ = 0,01 A waard.
- De wijzer staat op het zesde streepje.
- De stroomsterkte is dus 0,36 A.

5 Werken met formules

Bij het vak natuurkunde moet je regelmatig berekeningen maken. Ga daarbij stap voor stap te werk.

Stap 1 **Lees de opdracht.**
Lees de opdracht en schat hoe groot de uitkomst ongeveer zal zijn. In de voorbeeldopdracht wordt gevraagd hoelang een waterkoker erover doet om een kop water aan de kook te brengen. Je weet dat je dan enkele tientallen seconden tot een minuut moet wachten. Een paar seconden is duidelijk te weinig en vijf minuten is duidelijk te veel.

Stap 2 **Noteer de gegevens.**
Vertaal alle gegevens in letters en cijfers en noteer ze. Een gegeven zoals '44 kJ energie' noteer je bijvoorbeeld als: $E = 44$ kJ $= 4{,}4 \cdot 10^4$ J.

Stap 3 **Schrijf de formule(s) op.**
Sommige formules kun je op verschillende manieren opschrijven. Neem de vorm waarin de grootheid die je wilt berekenen voor het isgelijkteken staat. Je schrijft dus:
- $E = P \cdot t$ als je de hoeveelheid energie (E) wilt berekenen;
- $P = \frac{E}{t}$ als je het vermogen (P) wilt berekenen;
- $t = \frac{E}{P}$ als je de benodigde tijd (t) wilt berekenen.

Stap 4 **Vul de gegevens in.**

Stap 5 **Werk de berekening uit.**

Stap 6 **Noteer de uitkomst.**
De uitkomst is een getal gevolgd door een eenheid. De eenheid moet kloppen met de gegevens. Als je het vermogen invult in watt (W = J/s) en de tijd in seconden (s), dan vind je de hoeveelheid energie in joule (J). Zie ook de vaardigheid *Uitkomsten afronden*.

Stap 7 **Controleer de uitkomst.**
Vergelijk de uitkomst met de schatting die je in het begin maakte. Ga ook na of je geen reken- of overschrijffouten hebt gemaakt.

VOORBEELDOPDRACHT

Om het water voor een kop thee aan de kook te brengen, is 44 kJ warmte nodig. Hoelang doet een waterkoker van 1800 W erover om deze hoeveelheid energie te leveren?

gegevens $E = 44$ kJ $= 4{,}4 \cdot 10^4$ J
$P = 1800$ W

gevraagd $t = ?$

uitwerking $t = \frac{E}{P} = \frac{4{,}4 \cdot 10^4}{1800} = 24$ s

6 Formules herschrijven

Bij het vak natuurkunde gebruik je vaak formules. Zo'n formule kun je op verschillende manieren opschrijven. Soms is de ene vorm handiger, soms de andere. Dat wil niet zeggen dat je al die verschillende vormen moet onthouden. Als je één vorm onthoudt, dan kun je de andere vormen daar snel uit afleiden. Dat noem je de formule herschrijven.

Voor het herschrijven van formules kun je twee wiskundige methoden gebruiken: kruislings vermenigvuldigen en de balansmethode. Neem bijvoorbeeld de formule: $v = \frac{s}{t}$

Stel dat je met deze formule de tijd t wilt berekenen, dan kun je de formule als volgt herschrijven:

Methode 1: Kruislings vermenigvuldigen
Hiervoor schrijf je eerst beide kanten als breuk: $v = \frac{s}{t} \rightarrow \frac{v}{1} = \frac{s}{t}$, want $\frac{v}{1} = v$

Vermenigvuldig kruislings:
$\frac{v}{1} = \frac{s}{t} \rightarrow v \cdot t = s \cdot 1 \rightarrow v \cdot t = s$

Deel nu beide kanten door v: $v \cdot t = s \rightarrow \frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$

Vereenvoudig de uitkomst: $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v} \rightarrow t = \frac{s}{v}$, want $\frac{v}{v} = 1$

Methode 2: De balansmethode

Hierbij doe je aan beide zijden van het isgelijkteken steeds hetzelfde. Het isgelijkteken betekent namelijk dat aan beide zijden dezelfde waarde staat, bijvoorbeeld: 3 = 3, of $\frac{6}{2} = \frac{3}{1}$ of $v = \frac{s}{t}$

Je mag beide zijden met hetzelfde getal vermenigvuldigen. De waarden aan beide zijden van het isgelijkteken veranderen, maar zijn nog steeds aan elkaar gelijk, bijvoorbeeld: $\frac{6 \cdot a}{2} = \frac{3 \cdot a}{1} \rightarrow 3 \cdot a = 3 \cdot a$

Hetzelfde geldt voor beide zijden delen door hetzelfde getal.

Vermenigvuldig nu in $v = \frac{s}{t}$ beide zijden met t: $v = \frac{s}{t} \rightarrow v \cdot t = \frac{s \cdot t}{t}$

Schrijf $v \cdot t = \frac{s \cdot t}{t}$ als $v \cdot t = s$, want: $\frac{t}{t} = 1$

Deel beide zijden door v: $v \cdot t = s \rightarrow \frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$

Schrijf $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$ als $t = \frac{s}{v}$, want: $\frac{v}{v} = 1$

7 Uitkomsten afronden

De uitkomst van een berekening kan niet nauwkeuriger zijn dan de gegevens die je hebt gebruikt. Daarom moet je de uitkomsten van berekeningen vaak afronden. Anders lijkt het alsof de uitkomst heel nauwkeurig is, terwijl dat in werkelijkheid niet zo is.

In de voorbeeldopdracht is de spanning 134 mV en de stroomsterkte 1,9 mA. Je zegt dat de spanning in drie significante cijfers is gegeven, en de stroomsterkte in twee significante cijfers. Dat betekent dat de stroomsterkte het minst nauwkeurige gegeven is. Daar moet je bij het afronden rekening mee houden.

Je kunt voor het afronden deze eenvoudige vuistregel gebruiken:

De uitkomst krijgt evenveel significante cijfers als het minst nauwkeurige gegeven.

Maar als de uitkomst één significant cijfer meer heeft, wordt dat ook goed gerekend.

Bij het tellen van het aantal significante cijfers moet je speciaal op de nullen letten:
- Nullen aan het begin van een getal tellen niet mee als je het aantal significante cijfers bepaalt: 25 cm heeft evenveel significante cijfers als 0,25 m. De nul aan het begin zegt alleen iets over de grootte van het getal en niets over de nauwkeurigheid. Hij is niet significant.
- Nullen middenin of aan het einde van het getal tellen wel mee voor het aantal significante cijfers. Als je lengte wordt gegeven als 1,80 meter, dan maakt die nul duidelijk dat je lengte is gemeten tot op 1 cm nauwkeurig. Deze nul zegt dus wél iets over de nauwkeurigheid.
- Nog enkele voorbeelden:
  - 2,0 heeft twee significante cijfers en 0,2 heeft maar één significant cijfer;
  - 0,22 en 0,022 hebben allebei twee significante cijfers;
  - 2,02 heeft drie significante cijfers.

Om correct af te ronden kijk je naar het eerste cijfer dat je moet schrappen. Als dat een 5 of meer is, moet je naar boven afronden. Dat betekent dat je het cijfer daarvóór met 1 moet verhogen. Is het cijfer dat je schrapt een 4 of lager, dan hoef je het cijfer daarvoor niet te verhogen.

Als je het antwoord in drie cijfers moet geven:
- rond je 2,345 af op 2,35;
- rond je 2,354 ook af op 2,35;
- rond je 2,395 af op 2,40;
- rond je 2,404 ook af op 2,40;
- enzovoort.

VOORBEELDOPDRACHT

Als er een spanning van 134 mV over een weerstand staat, is de stroomsterkte 1,9 mA. Bereken de weerstand.

gegevens U = 134 mV = 0,134 V
I = 1,9 mA = 0,0019 A

gevraagd R = ?

uitwerking $R = \frac{U}{I} = \frac{0,134}{0,0019} = 71\ \Omega$

Toelichting

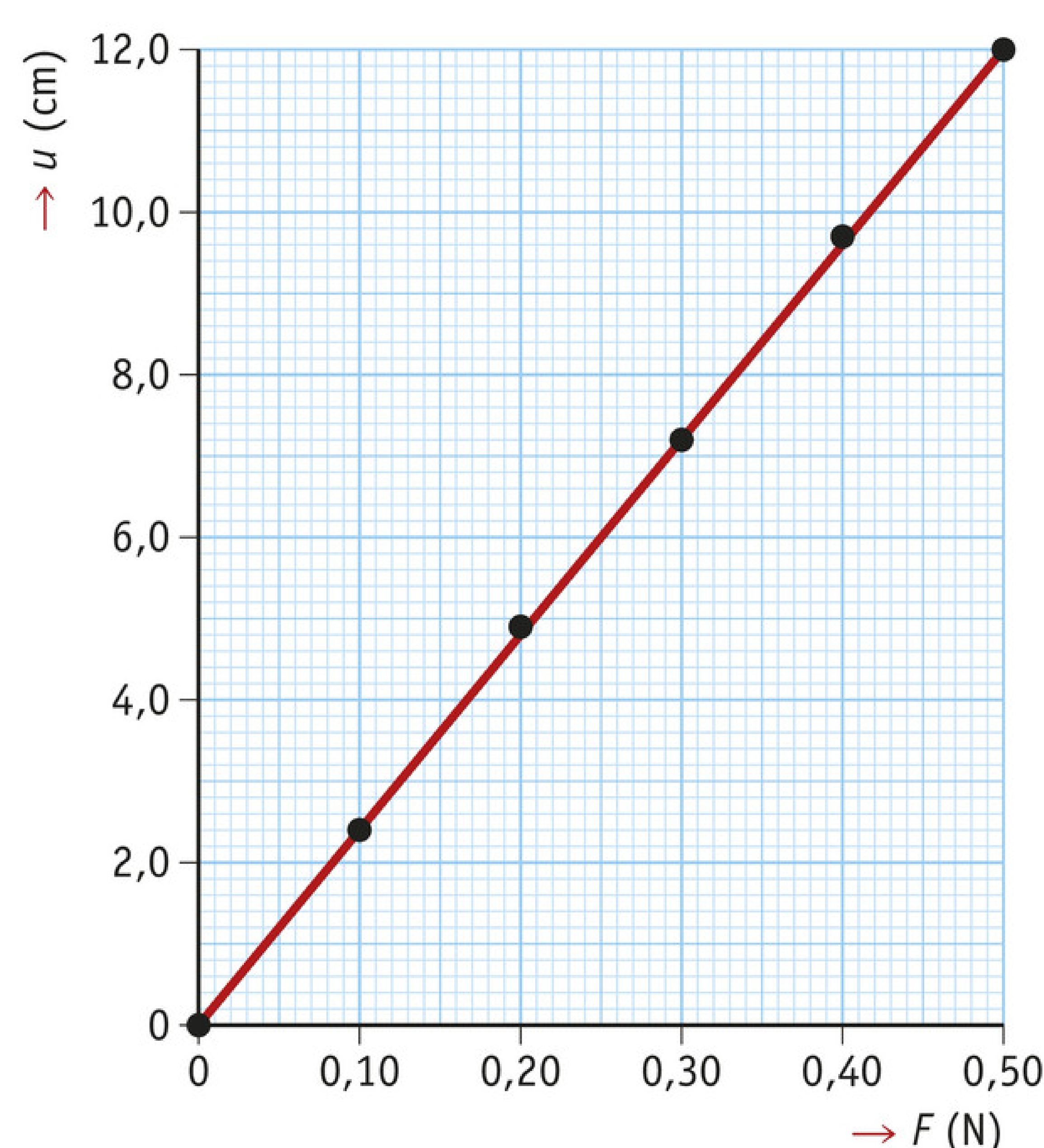
Als je de berekening op een rekenmachine uitvoert, krijg je als uitkomst 70,526 316. Het gegeven I = 1,9 mA heeft het kleinste aantal significante cijfers: twee. Je geeft het antwoord daarom ook in twee significante cijfers. Dus schrap je alle getallen na 70. Omdat het eerste cijfer dat je schrapt een 5 is, verhoog je de 0 daarvoor met 1. De correct afgeronde uitkomst is dus 71 Ω.

8 Werken met tabellen en grafieken

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden. Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?
Deze vraag gaat over het verband tussen de kracht en de uitrekking.

Om deze vraag te beantwoorden, voer je een serie metingen uit. Je hangt gewichtjes aan de veer en meet elke keer hoe ver de veer daardoor uitrekt. De meetresultaten noteer je in een tabel. Na afloop geef je de meetresultaten in de tabel in een grafiek weer.

Zo'n grafiek maak je als volgt:



figuur 3 Een grafiek van de uitrekking tegen de kracht.

Stap 1 **Teken een assenstelsel.**

Stap 2 **Zet bij elke as een grootheid, met de bijbehorende eenheid.**
Bijvoorbeeld: → *F* (N) en → *u* (cm).

Stap 3 **Zet langs beide assen een geschikte schaalverdeling.**
Zorg ervoor dat de grootste getallen er nog op passen.

Stap 4 **Teken de meetresultaten in als punten.**

Stap 5 **Teken de lijnen in.**
Teken een rechte lijn als de punten (ongeveer) op een rechte lijn liggen. Teken een vloeiende kromme als dat niet zo is. Laat die lijn of kromme zo goed mogelijk bij de punten aansluiten, maar verbind de punten nooit één voor één met elkaar. Het geeft niet dat de rechte lijn of de kromme niet precies door alle meetpunten loopt.

9 Verbanden meten

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden. Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?
Bij deze vraag zijn de grootheden de kracht (op de veer) en de uitrekking (van de veer).

Hoe meet je nu zo'n verband? Een paar aanwijzingen:

Stap 1 **Maak eerst een tabel waarin je de meetresultaten kunt noteren.**
Noteer links de kracht en rechts de uitrekking.

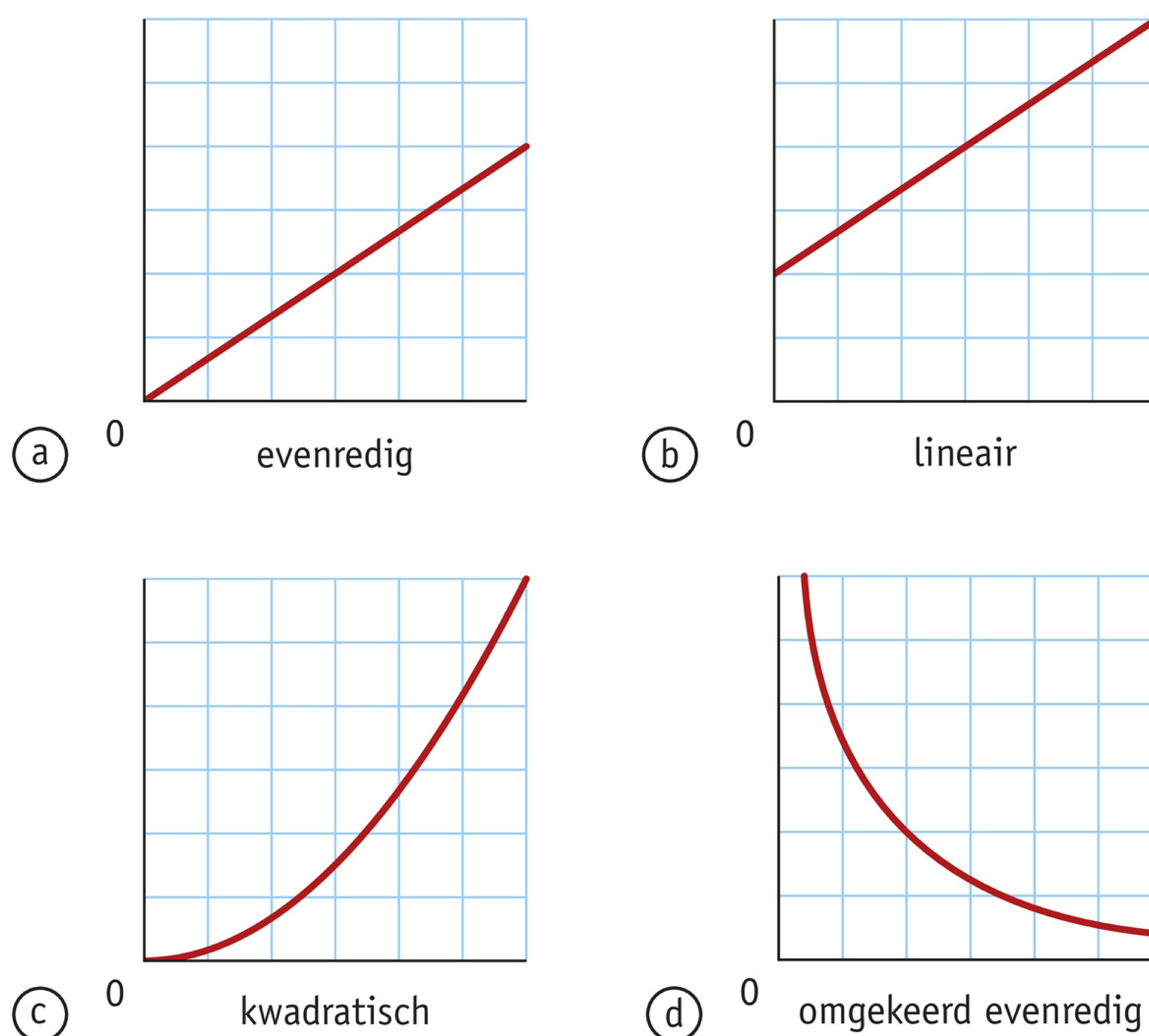
Stap 2 **Kies voor de grootheid in de linkerkolom een stapgrootte van ronde getallen.**
Bijvoorbeeld de volgende waarden van de kracht (in N):
0 0,1 0,2 0,3 0,4 enzovoort.
Dat maakt het gemakkelijker om straks een grafiek te tekenen.

Stap 3 **Noteer de meetwaarden in de tabel: links de kracht (in N), rechts de uitrekking (in cm).**

Stap 4 **Verwerk je metingen tot een grafiek.**
In de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken* kun je lezen hoe dat moet. Zet de kracht langs de horizontale as en de uitrekking langs de verticale as.

Stap 5 **Vergelijk jouw grafiek met figuur 4.**
Daarin zie je hoe een grafiek eruitziet:
a als het verband evenredig is;
b als het verband lineair is;
c als het verband kwadratisch is;
d als het verband omgekeerd evenredig is.

figuur 4 Vier soorten verbanden.



Het (u,F)-diagram van een spiraalveer is een rechte lijn door de oorsprong (figuur 3 in de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken*). Daaraan zie je dat het verband tussen de uitrekking en de kracht bij een spiraalveer evenredig is.

10 Een verslag schrijven

Bij een onderzoek hoort een verslag. In dat verslag leg je uit hoe het onderzoek is verlopen. Iemand die er niet bij is geweest, moet precies kunnen begrijpen wat er allemaal is gebeurd.

Deel je verslag als volgt in:

Titelpagina
Hierop vermeld je de titel van het onderzoek, de namen van de leerlingen in je onderzoeksgroep, de naam van je docent, de datum en het jaartal.

§ 1 Onderzoeksvraag
In deze paragraaf leg je uit welke vraag je met je onderzoek wilt beantwoorden.

§ 2 Werkplan
Hierin staat:
- welke grootheden je hebt gemeten;
- welke practicumspullen je hebt gebruikt;
- wat voor opstelling je hebt gemaakt (maak een tekening of een foto);
- wat je precies hebt gedaan:
  – Welke metingen heb je uitgevoerd?
  – Hoe heb je de meetresultaten verwerkt (tekenen/berekenen)?
  – Welke berekeningen heb je uitgevoerd (inclusief formules)?

§ 3 Onderzoeksresultaten
Hierin vermeld je wat je hebt waargenomen of gemeten: in de vorm van tekst, tabellen, grafieken, foto's en dergelijke.

§ 4 Conclusies
Hierin staat het antwoord op de onderzoeksvraag. Ook schrijf je op wat er beter had gekund.

Een verslag hoort er goed uit te zien. Het gaat niet alleen om de inhoud van je verslag. Je moet de inhoud ook duidelijk en overzichtelijk presenteren. Een aantal aanwijzingen:
- Gebruik papier op A4-formaat.
- Zorg ervoor dat er ruime marges overblijven: onder en boven, links en rechts.
- Kies een goed leesbaar lettertype, met een goede lettergrootte.
- Zet een vet kopje boven elke paragraaf. Sla daarna een regel over.
- Zorg voor nette tekeningen, tabellen en grafieken. Zet er een nummer bij zodat je ernaar kunt verwijzen.

Leerdoelen en taxonomie

4 KRACHT EN BEWEGING

WAT WEET JE AL OVER KRACHT EN BEWEGING?

LEERDOELEN

1 Je kunt een snelheid-tijddiagram of (*v*,*t*)-diagram aflezen.
2 Je kunt in een plaats-tijddiagram of (*x*,*t*)-diagram bij een tijdstip de bijbehorende plaats aflezen en omgekeerd.
3 Je kunt de gemiddelde snelheid berekenen in m/s en km/h.
4 Je kunt beschrijven wat de gevolgen voor een voorwerp zijn als er een kracht op werkt.
5 Je kunt verschillende krachten beschrijven.
6 Je kunt de zwaartekracht op een massa berekenen.
7 Je kunt een kracht tekenen door gebruik te maken van een krachtenschaal.
8 Je kunt de resulterende kracht berekenen van krachten die in dezelfde lijn liggen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Onthouden								
Begrijpen	5			4				
Toepassen			1			2		3
Analyseren								

4.1 VOORTSTUWEN EN TEGENWERKEN

LEERDOELEN

4.1.1 Je kunt beschrijven waarvan de luchtweerstandskracht en de rolweerstandskracht afhankelijk zijn.
4.1.2 Je kunt de resultante op een voorwerp afleiden.
4.1.3 Je kunt de twee gevolgen van een resultante op een voorwerp benoemen.
4.1.4 Je kunt verklaren welke beweging een voorwerp zal maken als je de resultante kent (eerste wet van Newton).
PLUS 4.1.5 Je kunt de formule van de luchtweerstand gebruiken en toelichten met berekeningen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	4.1.1	4.1.2	4.1.3	4.1.4	4.1.5
Onthouden	1abc		2d	2abc	12a
Begrijpen		4a, 5abc, 6a, 10abc	3	1d, 6b t/m e, 8a t/m f, 10f	11a t/m e
Toepassen		4b, 7abc			11fg, 12bc
Analyseren		10e		9a t/m e, 10d	

4.2 VERSNELLEN EN VERTRAGEN

LEERDOELEN

4.2.1 Je kunt een beweging vastleggen in een (v,t)-diagram.
4.2.2 Je kunt de soort beweging herkennen in een (v,t)-diagram.
4.2.3 Je kunt uitleggen wat versnelling en vertraging betekenen.
4.2.4 Je kunt de versnelling van een beweging berekenen.
4.2.5 Je kunt km/h omrekenen naar m/s, en omgekeerd.
4.2.6 Je kunt de afgelegde afstand van een beweging bepalen in een (v,t)-diagram.
PLUS 4.2.7 Je kunt niet-eenparig versnelde bewegingen analyseren en de verplaatsing en gemiddelde snelheid van zulke bewegingen bepalen in een (v,t)-diagram.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	4.2.1	4.2.2	4.2.3	4.2.4	4.2.5	4.2.6	4.2.7
Onthouden			1a	1bc, 3		1d	
Begrijpen		10a	4abc	2			11abe
Toepassen	5abc			6a, 7a, 8, 9bc, 10c		6b, 7b, 9a	11cd, 12ab
Analyseren			10b				

4.3 KRACHT, MASSA EN VERSNELLING

LEERDOELEN

4.3.1 Je kunt het begrip traagheid uitleggen.
4.3.2 Je kunt berekeningen maken met de tweede wet van Newton: $F = m \cdot a$
4.3.3 Je kunt de remkracht op een voertuig berekenen door gebruik te maken van de vertraging.
PLUS 4.3.4 Je kunt berekeningen maken met de valversnelling en uitleggen hoe deze afhangt van de straal en massa van een hemellichaam.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN								
	4.3.1	4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.1.2*	4.2.1*	4.2.4*	4.2.6*	onder-bouw*
Onthouden	1c		1ab, 7a						
Begrijpen	2abc, 3a	3b, 7d		8b, 9acd					
Toepassen			4ab, 5a, 6a, 7b	8ac		5c, 6b	5b	5d	6c
Analyseren		7ef		9b	7c				

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

4.4 REMMEN EN BOTSEN

LEERDOELEN

4.4.1 Je kunt de stopafstand berekenen.
4.4.2 Je kunt de stopafstand bepalen door de oppervlakte onder de grafiek in een (*v*,*t*)-diagram af te lezen.
4.4.3 Je kunt uitleggen wat de werking is van de veiligheidsvoorzieningen in een auto aan de hand van het verkleinen van de vertraging.
4.4.4 Je kunt de druk op een ondergrond berekenen.
PLUS 4.4.5 Je kunt de begrippen arbeid en bewegingsenergie uitleggen en de formules voor deze grootheden in verschillende situaties toepassen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN									
	4.4.1	4.4.2	4.4.3	4.4.4	4.4.5	4.2.1*	4.2.2*	4.2.3*	4.2.4*	4.3.1*
Onthouden	1c		2ab					1ab	1de	
Begrijpen			4b, 7a, 8d		2c, 11bc					4a
Toepassen	8c	6d, 7c	9d	4c, 6c, 9a	4d, 8e, 9b, 10abc	5a, 8b	5bd, 6ab		3abc, 5c, 7b, 9c	
Analyseren					11a					8a

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

5 SCHAKELINGEN

WAT WEET JE AL OVER SCHAKELINGEN?

LEERDOELEN

1 Je kent de symbolen die je gebruikt om een schakelschema te maken.
2 Je kunt enkele toepassingen geven van infrarode straling.
3 Je kunt uitleggen wat spanning en stroomsterkte zijn en hoe je deze grootheden meet.
4 Je kunt het verschil tussen een parallelschakeling en een serieschakeling uitleggen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	1	2	3	4
Onthouden	1	2		
Begrijpen			3	4
Toepassen				
Analyseren				

5.1 LADING EN SPANNING

LEERDOELEN

5.1.1 Je kunt uitleggen hoe een voorwerp elektrisch geladen kan worden.
5.1.2 Je kunt kenmerken van positieve en negatieve lading benoemen.
5.1.3 Je kunt uitleggen hoe een geladen voorwerp ontladen kan worden.
5.1.4 Je kunt een aantal spanningsbronnen benoemen.
PLUS 5.1.5 Je kunt het begrip elementaire lading toepassen in berekeningen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	5.1.1	5.1.2	5.1.3	5.1.4	5.1.5
Onthouden	1ac, 2d	1b, 2ac	2b, 3abc		
Begrijpen	5b	4ab, 6ab, 7ab, 8abc	5acd		10a, 11b
Toepassen					10bc, 11ac
Analyseren		9b		9a	

5.2 WEERSTAND

LEERDOELEN

5.2.1 Je kunt uitleggen hoe je de weerstand van een draad bepaalt.
5.2.2 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen weerstand, spanning en stroomsterkte.
5.2.3 Je kunt uitleggen wanneer voor een component de wet van Ohm geldt.
5.2.4 Je kunt de verandering van de weerstand van een NTC bij veranderende temperatuur benoemen.
5.2.5 Je kunt de verandering van de weerstand van een LDR bij veranderende lichtsterkte benoemen.
PLUS 5.2.6 Je kunt de weerstand van een draad berekenen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	5.2.1	5.2.2	5.2.3	5.2.4	5.2.5	5.2.6
Onthouden		1a, 2	1bcd	1e		
Begrijpen	3a		5ad, 6b		8c	10a
Toepassen	3b, 4	3c, 5cf, 6ac, 7d, 8ab	5be, 7a	9ab		10bc, 11ac
Analyseren			7bce			11b

5.3 WERKEN MET WEERSTANDEN

LEERDOELEN

5.3.1 Je kunt de vervangingsweerstand in een serieschakeling berekenen.
5.3.2 Je kunt de spanning over de weerstanden in een serieschakeling berekenen.
5.3.3 Je kunt de vervangingsweerstand in een parallelschakeling berekenen.
5.3.4 Je kunt de stroomsterkte door de weerstanden in een parallelschakeling berekenen.
PLUS 5.3.5 Je kunt de werking van schakelingen met een temperatuursensor uitleggen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	5.3.1	5.3.2	5.3.3	5.3.4	5.3.5	5.2.2*
Onthouden	1ac, 2a	1b, 2d	1d, 2c	2b		
Begrijpen	3b	3c		3a	11bcd	
Toepassen	4ab, 5abc, 8c, 10ab		7a, 8d, 9	7b, 8a	11a	6ab, 8b
Analyseren					12ab	

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

5.4 AUTOMATISCHE SCHAKELINGEN

LEERDOELEN

5.4.1 Je kunt de drie delen van een automatische schakeling beschrijven.
5.4.2 Je kunt de werking van een transistor beschrijven.
5.4.3 Je kunt de werking uitleggen van eenvoudige schakelingen met een transistor.
PLUS 5.4.4 Je kunt het gebruik van een diode in schakelingen uitleggen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	5.4.1	5.4.2	5.4.3	5.4.4	5.2.4*	onderbouw*
Onthouden	2	1a t/m d, 5ab			7ab	
Begrijpen	3, 4a t/m d		7c, 8ab	11a t/m d, 12a		6b
Toepassen			6a, 9b, 10abc	12b, 13ab		
Analyseren			5c, 7d, 9a	13c		

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

6 STRALING

WAT WEET JE AL OVER LICHT?

LEERDOELEN

1 Je kunt uitleggen wat de frequentie van een trilling is.
2 Je kunt uitleggen wat een spectrum is en hoe je een spectrum zichtbaar maakt.
3 Je kunt aangeven waar infrarode en ultraviolette straling in het spectrum liggen.
4 Je kunt lichtstralen tekenen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	1	2	3	4
Onthouden	1	2	3	
Begrijpen				
Toepassen				4
Analyseren				

6.1 ELEKTROMAGNETISCHE STRALING

LEERDOELEN

6.1.1 Je kunt het draadloos zenden en ontvangen van informatie beschrijven.
6.1.2 Je kunt kenmerken van elektromagnetische straling beschrijven.
6.1.3 Je kunt de afgelegde afstand van elektromagnetische straling berekenen met behulp van de lichtsnelheid.
6.1.4 Je kunt in het elektromagnetische spectrum soorten elektromagnetische straling ordenen.
6.1.5 Je kunt de effecten van ioniserende straling beschrijven.
PLUS 6.1.6 Je kunt rekenen met de formule voor golfsnelheid.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	6.1.1	6.1.2	6.1.3	6.1.4	6.1.5	6.1.6
Onthouden	2a	1d	1a	1bc	1e	
Begrijpen	2b	3, 7d, 10b				12ae
Toepassen		4abc, 5ab, 7abc	5c, 6	8ab, 9		11ab, 12bd
Analyseren		10acd				12c

6.2 LICHT EN LENZEN

LEERDOELEN

6.2.1 Je kunt de kenmerken van positieve en negatieve lenzen uitleggen.
6.2.2 Je kunt de voorwerpsafstand en beeldafstand beschrijven.
6.2.3 Je kunt de beeldafstand van een lens bepalen door middel van een constructie met twee constructiestralen.
PLUS 6.2.4 Je kunt berekeningen maken met de lenzenformule.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	6.2.1	6.2.2	6.2.3	6.2.4
Onthouden	1ab, 2bc	1cd	4a	11d
Begrijpen	3a	5abe, 7b, 8bc	4d	11c
Toepassen		3b	2a, 4bc, 6a t/m d, 7a, 8a, 9	11ab, 12a
Analyseren	10ab	5cdf		12b

6.3 RÖNTGENFOTO'S MAKEN

LEERDOELEN

3.4.1 Je kunt drie processen beschrijven die kunnen optreden als elektromagnetische straling op een voorwerp valt.
6.3.2 Je kunt beschrijven hoe een röntgenfoto wordt gemaakt.
6.3.3 Je kunt de risico's en gevaren van röntgenstraling benoemen.
6.3.4 Je kunt maatregelen benoemen die de hoeveelheid straling verkleinen die iemand ontvangt.
PLUS 6.3.5 Je kunt berekeningen maken met de halveringsdikte

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	6.3.1	6.3.2	6.3.3	6.3.4	6.3.5
Onthouden	1abc	2a		3ab, 6d, 9a	11a
Begrijpen		2b, 4a, 5b, 6abc, 7ab, 9b	4b		11bc
Toepassen				10ab	12ab
Analyseren		5a, 7c	8ab	6e	13

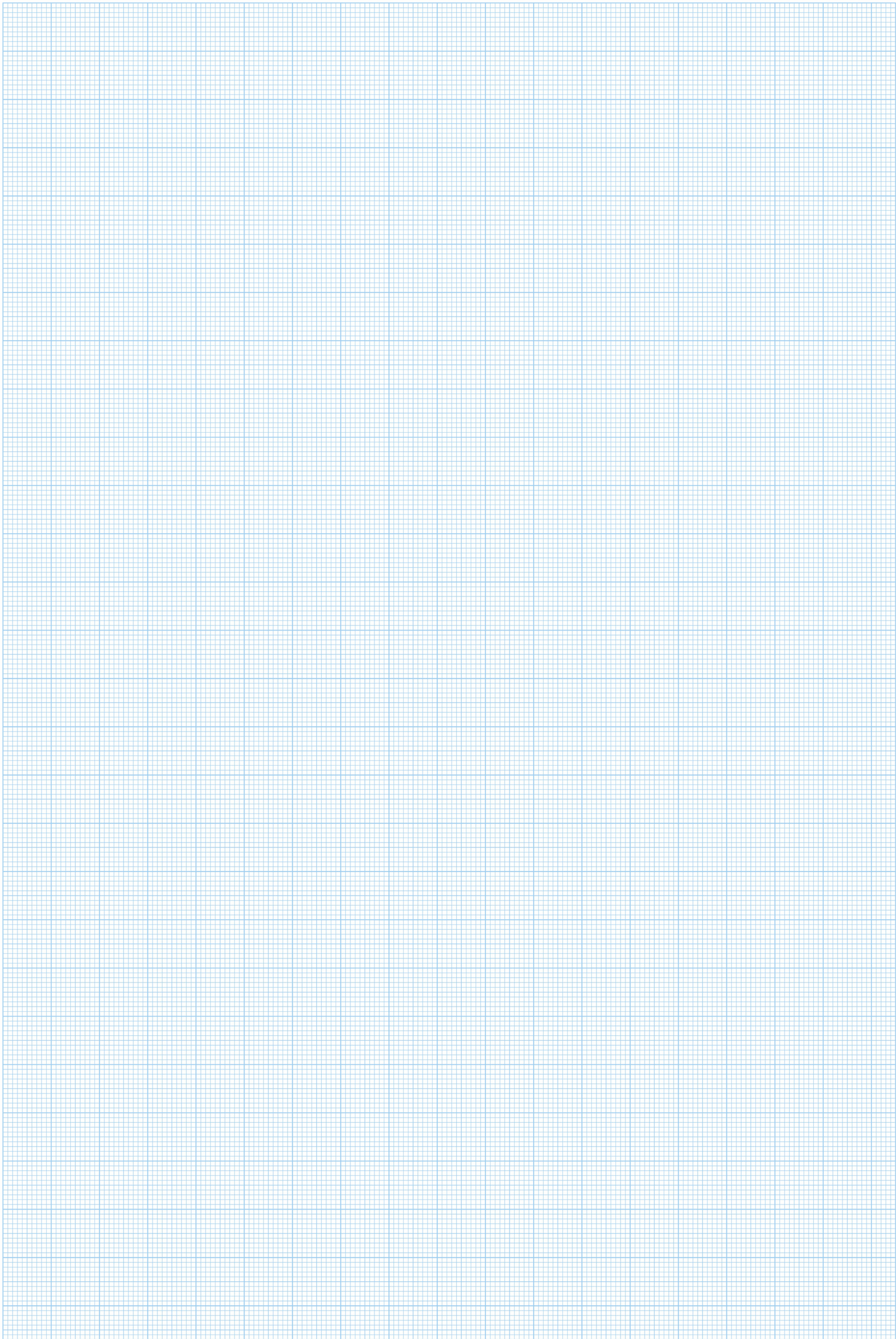
6.4 WERKEN MET GAMMASTRALING

LEERDOELEN

6.4.1. Je kunt beschrijven wat radioactiviteit is.
6.4.2 Je kunt de activiteit in de loop van de tijd berekenen.
6.4.3 Je kunt de halveringstijd bepalen uit een vervalkromme.
6.4.4 Je kunt drie soorten straling beschrijven die radioactieve stoffen kunnen uitzenden.
6.4.5 Je kunt van verschillende soorten straling het doordringend vermogen beschrijven.
6.4.6 Je kunt onderzoek met gammastraling beschrijven.
6.4.7 Je kunt het verschil tussen besmetting en bestraling uitleggen.
PLUS 6.4.8 Je kunt de vervalvergelijking opstellen van een instabiele kern die alfa- of bètastraling uitzendt.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN							
	6.4.1	6.4.2	6.4.3	6.4.4	6.4.5	6.4.6	6.4.7	6.4.8
Onthouden		1a		1b	1c, 2c	2abd	1d	10a
Begrijpen					4	5ab	7ab, 8, 9ab	10bcd, 11abc, 12ab
Toepassen		3ab				6ab		
Analyseren							9cd	11d, 12c





Register

Achter elk begrip staat de pagina waarop het begrip in de leertekst wordt uitgelegd en de pagina waarop het begrip in het Leerstofoverzicht staat. Begrippen die in de plus-stof staan, staan enkel in de leertekst.

Colofon

ONTWERP BINNENWERK
Pointer grafische vormgeving
Crius Group

ONTWERP OMSLAG
Studio Struis

UITVOERING BINNENWERK
Crius Group

AUTEURS
Louis Lenders
Sander Michon, michon educatie
François Molin
Rein Tromp

EINDREDACTIE
Claud Biemans, frontlinie.nl

TECHNISCH TEKENWERK
Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam; Erik Eshuis, Groningen

BEELDRESEARCH
B en U International Picture Service, Amsterdam

BEELDVERANTWOORDING
Aberration Films Ltd / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: pag. 120/121; Adam Gregor / Shutterstock: pag. 161 (b); Alan Bean / NASA: pag. 38; Amelie Benoist / BSIP / Hollandse Hoogte, Den Haag: pag. 149 (o); Bernhard Kunz / Picture Alliance / Imageselect, Wassenaar: pag. 36 (o); Chris Ryan / Caiaimage / Getty Images: pag. 6/7; Christien van den Akker, Amersfoort: pag. 32; CROWN COPYRIGHT / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: pag. 132; Dario Sabljak / Shutterstock: pag. 127 (b); David Parker / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: pag. 159 (o/l); Dept. of Nuclear Medicine, Charing Cross Hospital / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: pag. 160 (b); DOMunder, Utrecht: pag. 113; Elina / Shutterstock: pag. 17 (m); Eric Gomez T / Shutterstock: pag. 135 (o); Erik Eshuis Infographics, Groningen; pag. 18 (b/l), 18 (b/r), 34 (m), 56, 57, 64 (m 6x), 64 (o), 67 (m), 67 (o), 68, 69 (b), 69 (m), 70, 71 (o), 74 (o), 79 (m/r), 80, 81 (b), 81 (o), 82, 83, 84, 86 (o), 88 (o), 89, 90, 91 (m), 91 (o), 92, 93 (b), 93 (o/l), 93 (o/r), 94 (b), 94 (o), 97 (m), 97 (o), 98 (b), 98 (m), 99 (b/l), 99 (b/r), 100 (b), 100 (m), 100 (o), 101 (b), 102 (b), 103 (b), 103 (m), 103 (o), 104, 107 (b), 109, 111, 114 (b), 114 (o), 115, 122, 123, 130 (b), 133, 134, 135 (b), 136, 137 (b), 137 (o), 138, 139 (b), 139 (o), 140 (o), 141 (b), 141 (o), 142 (b), 142 (o), 143 (b 6x), 143 (b 6x), 143 (b 6x), 143 (b 6x), 143 (b 6x), 143 (b 6x), 144 (o), 146, 147 (b), 149 (b), 150 (b), 151, pag 152 (o), 157 (b), 157 (o), 158, 164 (b), 164 (o), 167, 168, 172 (m); Fitzsimage / Shutterstock; pag. 28 (b); Flip Franssen / Hollandse Hoogte: pag. 62/63; Fototocam / Shutterstock, Erik Eshuis Infographics, Groningen: pag. 96 (b); Franco Origlia / GettyImages: pag. 160 (o); Germanskydiver / Shutterstock: pag. 14; GI Photo Stock Science Source / Imageselect, Wassenaar: pag. 34 (b); Hannay Reels: pag. 71 (b); Hilda Weges / Nationale Beeldbank, Den Haag: pag. 144 (b/l); JBK / Shutterstock: pag. 19 (m); Jens Schlueter / PPE / DDP: pag. 67 (b); John Molloy / Image Source / Imageselect, Wassenaar: pag. 55 (o); Joseph Giacomin / Image Source Salsa / F1online / Imageselect, Wassenaar: pag. 131 (m); Joyce van Belkom / Hollandse Hoogte, Den Haag: pag. 55 (b); Kia Motors Nederland B.V. , Breukelen: pag. 37 (m); Kleine Humboldt Galerie, Berlijn: pag. 171; Lightpoet/123RF: pag. 178; Mark Kostich / Shutterstock: pag. 153 (m); Martyn F. Chillmaid /Science Photo Library / ANP Photo, Den Haag: pag. 66, 77 (m); Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: pag. 74 (m), 85, 86 (b), 87, 183 (o); Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam, Erik Eshuis Infographics, Groningen: pag. 79 (m/l); Monty Rak / Imageselect, Wassenaar: pag. 72 (m); NASA / Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory / Southwest Research Institute / Roman Tkachenko: pag. 131 (b); Nationale Beeldbank, Den Haag: pag. 144 (b/r); Olga Popova / Shutterstock: pag. 156; Owen Weber / Shutterstock: pag. 140 (b); Pavel L Photo and Video / Shutterstock: pag. 88 (b); Phanie / Alamy Stock Photo/ Imageselect, Wassenaar: pag. 159 (o/m), 159 (o/r); Purestock / Alamy Stock Photo / Imageselect, Wassenaar: pag. 165; Robert Crum / iStock-photo: pag. 33; Samunella / Shutterstock pag. 153 (o); Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: pag. 152 (m); Science Photo Library / ANP Photo, Den Haag, Erik Eshuis Infographics, Groningen: pag. 77 (o); Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam: pag. 9, 8, 11 (b), 11 (m), 11 (o), 12, 13 (m/l), 13 (m/m), 13 (m/r), 15, 16, 17 (b), 18 (o), 19 (o), 20 (b), 20 (o), 21, 22, 23 (m), 23 (o), 24 (b), 24 (o), 26 (b), 26 (m), 26 (o), 27 (b), 27 (m), 28 (o). 29 (b), 29 (o), 30, 31, 36 (b), 37 (b), 39, 40, 41, 44, 45 (b), 45 (m), 46 (o), 47, 48, 51, 52, 50, 58, 72 (o), 76 (b), 76 (o), 96 (o), 102 (o), 105, 107 (o), 125, 126 (b), 126 (o), 130 (m), 161 (o), 162, 163, 166, 183 (b), 189, 191 (b/l), 191 (b/r), 191 (o/l), 191 (o/r); SPIE Nederland B.V., Breda: pag. 116; Stephan Roos, Vianen: pag. 127 (o), 148; SvedOliver / Shutterstock: pag. 150 (m); Valuavitaly / Dreamstime: pag. 124; Vereshchagin Dmitry / Shutterstock: pag. 46 (b); Vincent Jannink / ANP Foto, Den Haag: pag. 10: Voler Steger / Science Photo Library / ANP Foto, Den Haag: pag. 172 (o/l), 172 (o/r); Wikimedia Commons: pag. 173; wonderisland / Shutterstock: pag. 147 (o); yevgeniy11 / Shutterstock: pag. 95

OMSLAG
Altrendo Images/Hollandse Hoogte

ISBN 978 94 020 7313 3

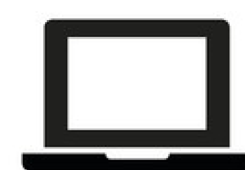
Release 5.1, eerste oplage

MALMBERG

MAX


Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.


Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.


Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

AUTEURS

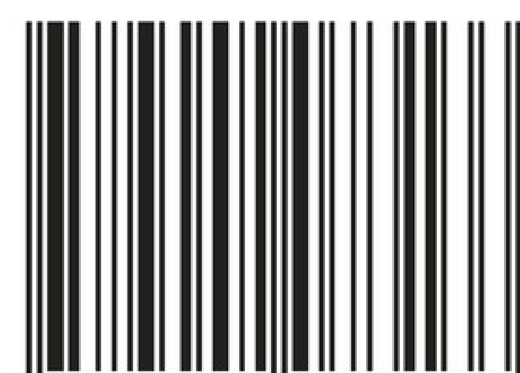
Louis Lenders
Sander Michon
François Molin
Rein Tromp

EINDREDACTIE

Claud Biemans

Release 5.1

ISBN 978 94 020 7313 3



598792-01

MALMBERG